electronia + radio + tv

Alta Fidelidad

ediciones AFHA

electronia radio tv

método especialmente ideado para aprender por sí mismo

electronia + radio + tv

tomo VIII

alta fidelidad

AFHA

el método de

electronia + radio + tv

comprende los siguientes títulos:

Tomo	I	**Teoría y montajes iniciales**
Tomo	II	**Válvulas de vacío. Electrometría teórico-práctica**
Tomo	III	**Detectores. Osciladores. Amplificadores**
Tomo	IV	**Amplificadores B.F. Altavoces. Válvulas amplificadoras**
Tomo	V	**El superheterodino de AM**
Tomo	VI	**Receptores de frecuencia modulada**
Tomo	VII	**Transistores**
Tomo	VIII	**Alta fidelidad**
Tomo	IX	**Instrumentos de medida**
Tomo	X	**Televisión (I)**
Tomo	XI	**Televisión (II)**
Tomo	XII	**Televisión (III)**

© AFHA Internacional, S.A.
Maestro Nicolau, 4 Barcelona (21)
Decimonovena edición: Segundo trimestre 1980
Depósito Legal: B. 8906-1977 (VIII)
ISBN 84-201-0274-1 Obra completa
ISBN 84-201-0059-5 Tomo 8
Impreso en España
Printed in Spain
Impreso por EMOGRAPH, S.A.
Almirante Oquendo, 1-9 Barcelona (20)

prólogo

La técnica de la grabación y reproducción del sonido, como todo descubrimiento científico, describe una curva ascendente en un sistema coordenado, en uno de cuyos ejes podríamos expresar los años transcurridos desde la fecha en que Edison construyó el primer gramófono hasta nuestros días, y en el otro eje el nivel de perfección que tal grabación y reproducción ha alcanzado. En el punto más alto de esta curva deberíamos poner esta anotación: Hi-Fi.

Ciertamente que estas siglas (Hi-Fi) han adquirido una popularidad extraordinaria. El mercado del disco y de la cinta magnetofónica es, sin duda, uno de los fenómenos socioeconómicos más característicos de nuestro siglo; una industria que cuenta sus ejercicios económicos por miles de millones de pesetas y está en constante evolución para satisfacer las apetencias de los compradores de «música en conserva». Lo competitivo de este mercado ha forzado a los técnicos a encontrar fórmulas capaces, por una parte, de satisfacer el ansia de auténtica fidelidad de quienes buscan, tanto en la grabación como en la reproducción, la posibilidad de captar con la mayor exactitud las calidades sonoras obtenidas por un determinado intérprete u orquesta; y por otra parte, de proporcionar a otro tipo de público la posibilidad de escuchar su música predilecta con el aditamento de una serie de efectismos que el afán de originalidad hace muy apetecibles.

Esta doble posibilidad técnica ha hecho que se tenga de la alta fidelidad un concepto erróneo por parte del gran público. Este libro viene, precisamente, a poner las cosas en su justo sitio para dar al técnico el criterio y las posibilidades que le hagan capaz de discernir entre lo que realmente es un equipo de alta fidelidad y lo que es otro equipo con amplias posibilidades de distorsión voluntaria. Todo un mundo de posibilidades técnicas, encaminadas a satisfacer las exigencias de los más diversos gustos musicales, se encierra en las páginas de este libro. Quien se interese en su estudio conocerá las soluciones más idóneas para ajustarse a las exigencias tanto estéticas como económicas de cualquier tipo de cliente.

En este punto aconsejaríamos al presunto lector de nuestra obra que diese un vistazo a su índice. Consideramos que la enumeración de los temas tratados es suficientemente explícita para dar una idea general de su amplitud y variedad. Quien haya seguido nuestro consejo observará que el concepto «alta fidelidad» no se circunscribe tan sólo a su problemática téc-

nica, sino que su mismo destinatario (el sentido del oído) implica trabajar sobre bases que algunas veces son muy empíricas, por lo mismo que son personales.
Si por un lado debemos entender por alta fidelidad la posibilidad técnica de reproducir un sonido con idénticas calidades que las que ha tenido en el momento de ser emitido, el técnico debe ser también capaz de construir aquellos equipos que, en cierto modo, pueden convertir al oyente en intérprete de la música que desea escuchar, puesto que ciertos matices o efectos sonoros son más o menos valorados según las personas.
La reproducción en Hi-Fi es posible por cuanto los elementos que integran un equipo responden a las condiciones que su función exige. De ahí que al hablar de alta fidelidad pensemos en un material también para alta fidelidad. En nuestro libro, al estudiar los montajes para la grabación y reproducción en Hi-Fi se entrará en conocimiento de las condiciones que deben cubrir los distintos elementos que en ellos intervienen. Micrófonos, altavoces, gabinetes acústicos, sintonizadores, dispositivos de reverberación, etc., etc., son motivo de atención en esta obra, que no pretende otra cosa sino dar a conocer recursos que, puestos en manos del técnico, le preparan para cubrir todas las posibilidades, pero siempre con el sentido común necesario para saber aconsejar en cada caso la solución más conveniente, en función de unas posibilidades económicas, de las posibilidades de un local e incluso del grado de cultura musical del cliente.
También la estereofonía tiene cabida en las páginas de nuestro libro. Tema éste que está a la orden del día y que es consustancial a la alta fidelidad. Actualmente casi se confunde una cosa con otra, si bien, en realidad, son dos conceptos totalmente independientes. Nuestros lectores tendrán una idea concreta, exacta y suficiente de las técnicas de grabación y reproducción estereofónicas; podrán discernir con lógica y honradez profesional en qué ocasiones es recomendable la estereofonía y en cuáles no tiene otra justificación que satisfacer cierto grado de esnobismo del cliente.
El estudio de este libro, en fin, representa para el técnico en radio haber alcanzado una calificación superior, estar en posesión de una serie de conocimientos que le harán introducirse profesionalmente en un nuevo campo de la industria electrónica: el diseño, fabricación y reparación de equipos de alta fidelidad.

índice

Lección 44 - página 1

ALTA FIDELIDAD. Objeto de la alta fidelidad. Evolución de la técnica hasta el logro de la Hi-Fi. Qué entendemos por Hi-Fi. Cuál es la opinión de un técnico. Qué queremos conseguir con una reproducción en Hi-Fi. Cómo podríamos definir la Hi-Fi. Calidad y precio. El sonido que reproducimos. El sonido como fenómeno fisiológico. Cualidades del sonido. Intensidad. Intensidad y sensación auditiva. Cómo medimos las variaciones de potencia. Curva umbral. Curva de sensación dolorosa. Curvas isofónicas. Alcance dinámico. Timbre. Requisitos que ha de cumplir un sistema de alta fidelidad. Distorsión. Distorsión de amplitud armónica o no lineal. Distorsión de frecuencia. Distorsión de fase. Distorsión de intermodulación. Distorsión de transistorios. Relación señal/ruido.

Lección 45 - página 33

ALTA FIDELIDAD. Los eslabones del equipo. Primera sección del equipo; entrada. Micrófonos. Propiedades físicas de un micrófono: sensibilidad y nivel de salida; respuesta de frecuencia; directividad de un micrófono. Tipos de micrófonos. Micrófonos de carbón; propiedades. Micrófonos de cristal; propiedades. Micrófonos dinámicos; propiedades. Micrófonos de cinta; propiedades. Micrófonos de condensador; propiedades. Grabación de discos. Elementos necesarios para un registro lateral. Disco. Grabador. Grabador magnético. Grabador de cristal. Tipos de registro lateral. Registro lateral por velocidad constante. Tipo de registro lateral utilizado prácticamente. Velocidad constante modificada. Curvas de respuesta. Características de grabación. El plato giradiscos en la grabación. Tornillo guía. Amplificador. Lectura de discos; tocadiscos. Partes de un tocadiscos. Cápsula fonocaptora. Cápsulas de cristal y cápsulas cerámicas. Propiedades. Cálculo de la red igualadora. Cápsulas magnéticas. Cápsulas dinámicas; propiedades. Cápsulas de capacidad; propiedades. Agujas reproductoras. La forma de la aguja. El brazo fonocaptor. Error de pista. Empuje lateral. Corrección longitudinal y lateral del brazo. El plato giradiscos. Cambiadiscos automáticos.

Lección 46 - página 73

ALTA FIDELIDAD. MAGNETÓFONOS. Propiedades magnéticas de los materiales. Imanes artificiales. Curva de magnetismo remanente. Grabación sobre cintas magnéticas. Reproducción. Cabezas magnéticas. Cabeza de registro. Cabeza de reproducción. Borrado de la cinta. Cabeza de borrado. Cintas magnéticas. Cualidades que debe reunir una cinta. Requisitos mecánicos de una cinta. Requisitos magnéticos. Mecanismos de arrastre de la cinta. Algunos tipos básicos de sistemas de arrastre. Sistemas con tres motores. Sistemas con dos motores. Sistemas con un solo motor. Respuesta de frecuencia de un magnetófono. Ruido y zumbido en la grabación magnética. Grabación en dos o cuatro pistas. Requisitos que deben exigirse de un magnetófono. Circuitos eléctricos de un magnetófono. Amplificador de grabación. Amplificador de reproducción. Amplificador combinado registro-reproducción. Oscilador de alta frecuencia. El magnetófono en el equipo de alta fidelidad. Sintonizadores. Sensibilidad y selectividad. Consideraciones sobre la banda pasante de un sintonizador. Sintonizadores de Hi-Fi. Sintonizadores de AM. Comparación del superheterodino con el receptor de radiofrecuencia sintonizada. Sintonizador de AM superheterodino. Etapa de radiofrecuencia. Etapa osciladora-conversora. Amplificación de F.I. Circuitos detectores más frecuentes en los sintonizadores de Hi-Fi. Detección por diodo. El detector de impedancia infinita. Control automático de sensibilidad. Circuitos limitadores. Silenciador entre emisoras. Indicador de sintonía. Control de selectividad. El sintonizador de FM. Etapa amplificadora de R.F. Paso conversor. El amplificador de F.I. El limitador. El detector de FM. Circuitos complementarios. Unidades combinadas AM/FM.

Lección 47 - página 125

ALTA FIDELIDAD. Altavoces y alta fidelidad. Altavoces. Clasificación de los altavoces. Altavoces dinámicos. Descripción del altavoz dinámico. Cono. Bobina móvil. Campana. Yugo. Sistema de excitación. Araña. Tipos de arañas. Tapas de retención de polvo. Otros tipos de altavoces. Altavoces electrodinámicos. Altavoces de tipo cristal. Altavoces de tipo condensador o electroestáticos. Características de un altavoz: impedancia, respuesta de frecuencia, potencia admisible. Otras características de los altavoces: características del campo magnético, resistencia de la bobina móvil, directividad. Cómo conseguir la reproducción de toda la gama sonora. Primera solución. Altavoces especiales para la reproducción de notas graves. Altavoces para frecuencias medias. Altavoces para agudos. Segunda solución. Altavoces especiales de banda extendida. Altavoces elípticos. Altavoces coaxiales. Redes divisoras eléctricas. Frecuencia de cruce o transición. Consideraciones de orden práctico. Gabinetes acústicos. Baffle perfecto. Baffle plano. Caja de fondo plano. Caja de fondo cerrado. Caja de reflexión de graves (bass-reflex). Procedimiento para sintonizar un bass-reflex. Bass-reflex de tamaño reducido. Bocinas. Límites de respuesta de una bocina. Perfil de la bocina. Margen de frecuencias cubiertas por una bocina. Otros tipos de recintos acústicos. Consideraciones sobre los recintos acústicos. Construcción de recintos acústicos. Colocación de los altavoces en el interior del baffle.

Lección 48 - página 169

ALTA FIDELIDAD. Amplificadores de alta fidelidad. Cualidades que debe reunir un amplificador de Hi-Fi. Características de frecuencia. Potencia de salida. Distorsión. Características de fase. Ruido y zumbido. Circuito de los amplificadores de alta fidelidad. Amplificadores de potencia para Hi-Fi. Amplificadores de potencia con transformador de salida. El transformador ideal. El transformador real: la inductancia del primario; pérdidas en el transformador; las capacidades parásitas y la autoinducción de dispersión; la saturación del núcleo. Circuito equivalente y curva de respuesta de un transformador real. Transformador para Hi-Fi. Las válvulas del paso de salida. ¿Triodos o pentodos? Elección de la recta de carga. Paso de salida ultralineal. Operaciones de ajuste en el paso final. Inversores de fase. Amplificadores de tensión. La realimentación negativa. La realimentación negativa mejora la linealidad. La realimentación negativa y la distorsión de frecuencia. Circuitos prácticos para aplicar realimentación a un amplificador de Hi-Fi. El preamplificador. Entrada del amplificador y acualizador. Controles de tono. Filtros y otros controles. Descripción de algunos amplificadores. Detalles prácticos a considerar en el montaje de un amplificador.

Lección 49 - página 225

ALTA FIDELIDAD. Sonido estereofónico. ¿Qué es el sonido estereofónico? Reproducción estereofónica del sonido. Cómo se lleva a cabo el registro estereofónico. Registro estereofónico sobre la cinta magnética. El magnetófono estereofónico. Grabación del sonido estereofónico en discos. Discos estereofónicos. Cómo se registran los dos canales en un solo surco. Reproducción de discos estereofónicos. La compatibilidad de los discos estereofónicos. Cómo conseguir un disco compatible. Los discos monofónicos. El amplificador estereofónico. El inversor. Control de balance. Los altavoces en los equipos estereofónicos. Conclusión. Dispositivos especiales. Los dispositivos de reverberación. Sistema de reverberación con cinta magnética. Sistema de reverberación con línea de retardo mecánico. Otros sistemas de reverberación con línea de retardo mecánico. Sistemas de reverberación con línea de retardo electrónico.

APENDICE

CONSTRUCCIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE ALTA FIDELIDAD.

LECCION 44

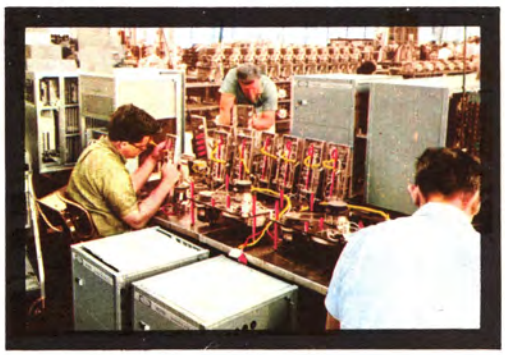
Qué entendemos por alta fidelidad

Calidad y precio

Curvas isofónicas

Requisitos que ha de cumplir un sistema de alta fidelidad

electronia radio + tv



alta fidelidad

Qué entendemos por alta fidelidad Calidad y precio - Curvas isofónicas Requisitos que ha de cumplir un sistema de alta fidelidad.

OBJETO DE LA ALTA FIDELIDAD

El objeto de estas lecciones es el estudio de la alta fidelidad. Estas dos palabras encierran un significado muy sugestivo y actual. ¿Quién no ha oído hablar de la reproducción del sonido en Hi-Fi? La ambición de todo melómano es poseer un equipo de alta fidelidad gracias al cual pueda gozar de la música con absoluta garantía de fidelidad sonora. En otras palabras: desea una reproducción perfecta.

Esto es lo que consiguen las técnicas de la alta fidelidad, dentro de los límites de lo humanamente posible.

LA ALTA FIDELIDAD O HI-FI (ABREVIATURA DE HIGH FIDELITY) TIENE POR OBJETO EL ESTUDIO DE LA PERFECTA REPRODUCCIÓN AUDIOFRECUENTE (de las frecuencias audibles).

Reproducción perfecta sería la que no pudiera distinguirse de la fuente sonora original; ideal al que nos acercaremos tanto más cuanto más perfecto sea técnicamente el equipo reproductor. Este tipo de reproducción, que pretende acercarse al límite de lo perfecto, es lo que llamamos reproducción en Hi-Fi, y de ella nos ocuparemos en estas lecciones.

Así como en un equipo sonoro ordinario el factor más representativo en lo que le refiere al sonido es, por lo general, la cantidad, en un equipo de Hi-Fi el factor que debe anteponerse es la calidad, la exactitud, la pureza y la perfección del sonido obtenido al reproducir la fuente sonora original.

El fin que se pretende conseguir con la técnica de la Hi-Fi es, pues, adoptar los medios que obtiene la investigación y dirigirlos al logro de una perfecta reproducción de la gama de frecuencias audibles.

NOTICIA SOBRE LA EVOLUCION DE LA TECNICA HASTA EL LOGRO DE LA HI-FI

Aunque actualmente no podamos obtener una fidelidad absoluta en la reproducción de los sonidos, es muy escasa la diferencia existente entre el sonido original y el reproducido. Sin embargo, no siempre ha ocurrido así.

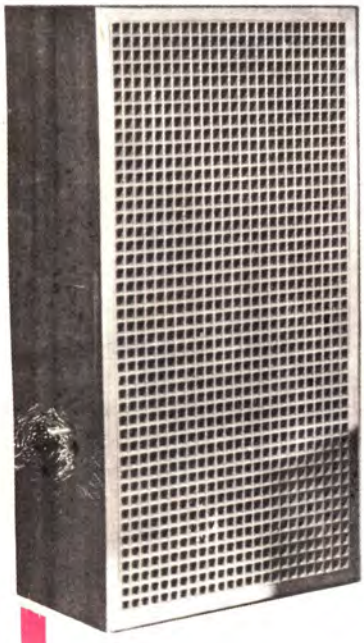
Pensemos en el sonido que se obtenía en los antiguos fonógrafos; el parecido de la reproducción y el sonido original era más ilusión que realidad. Si hoy en día tenemos ocasión de escuchar un disco antiguo reproducido en un fónografo de la época, no podemos por menos que sonreir al pensar que «aquello» pudiera considerarse un milagro de la ciencia. Tanto el fonógrafo, como mecanismo reproductor, como la grabación del disco dejaban muchísimo que desear.

Donde antes se notaron las mejoras fue en la grabación; en el campo de la reproducción, en cambio, se iba a un paso mucho más lento hacia el camino de la perfección.

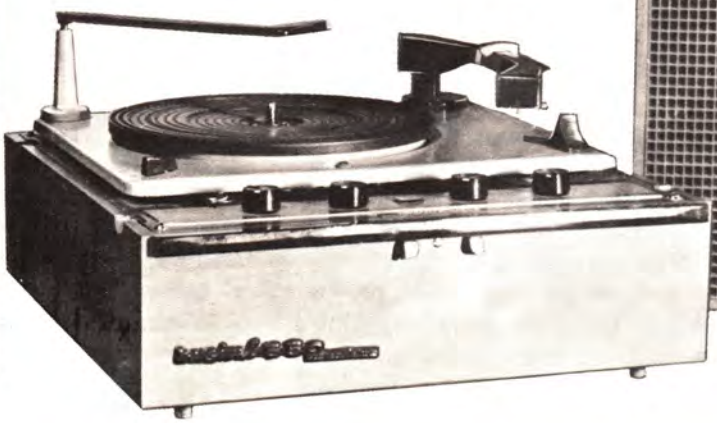
Mientras no pudo mejorarse la técnica de las válvulas de vacío y mientras no se obtuvieron componentes pasivos de calidad apreciable, no se llegó a una reproducción que diera la sensación de realidad; y aun así el sonido era pobre, apagado, sin vida.

El gran paso se dio al disponer de medios con

Dos primitivos fonógrafos. El de la derecha utiliza discos de grabación vertical.



Este fonógrafo estereofónico da idea de las tendencias actuales en la fabricación de este tipo de aparatos.



que analizar y medir las cualidades del sonido. Entonces fue posible comparar el sonido original y el reproducido. Esta comparación hizo, ante todo, observar que en el sonido reproducido estaban ausentes los tonos extremos del sonido original; es decir, las frecuencias más elevadas y las más bajas.

Era obligado corregir las deficiencias observadas, lo que hacía imprescindible disponer de un equipo en el que todos los componentes fueran capaces de responder hasta los extremos de la banda sonora.

La solución no se hizo esperar mucho; muy pronto se produjeron equipos en los que el defecto se había eliminado y que respondían a todo lo largo de la gama de audio.

Pero junto a la solución del problema expuesto se planteaba otro no menos importante. En las pruebas del nuevo equipo, efectuadas a base de audiciones musicales, algunos auditores preferían el sonido anterior de banda más restringida al nuevo sonido que contenía toda la gama. Además había que admitir que el hecho de alcanzar toda la gama de audio no daba mayor sensación de verismo que el caso anterior.

Entonces, además de los conceptos de tono, timbre e intensidad como cualidades físicas de un sonido, apareció el concepto de distorsión como cualidad expresiva de la discrepancia entre original y reproducido.

Más consideraciones sobre la calidad de los materiales y el diseño de los equipos hicieron posible superar este nuevo inconveniente de la distorsión y por fin conseguir un sonido que comparado con el real, el vivo, podía considerar técnicamente bueno.

Paralelamente a esta constante superación de los equipos reproductores, cabe considerar el incremento en la perfección de las técnicas de grabación y de transmisión.

En los estudios de grabación se introdujeron mejoras que hicieron posible conseguir una calidad hasta entonces insospechada.

Se usó nuevo y más adecuado material para la fabricación de discos, con lo que se logró disminuir considerablemente el llamado *ruido de púa,* a la vez que se aumentaba la cantidad de información que podía contener el surco del disco.

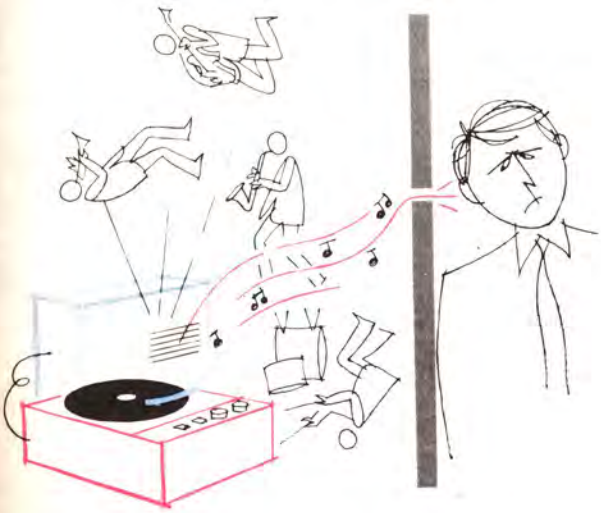
Se cambió la velocidad convencional de 78 r.p.m. por las de 45, 33 y 1/3 y más tarde 16 r.p.m., innovaciones que llevaron a la reducción del ancho del surco y su separación, con lo que quedaba establecida la posibilidad de obtener discos de larga duración.

Tampoco quedaron rezagadas las técnicas de transmisión en la carrera de constante superación marcada por los anteriores sistemas.

En el campo de la transmisión el hecho más importante fue, sin lugar a dudas, la posibilidad de transmitir por el sistema de modulación de frecuencia, modalidad con la que se eliminaban virtualmente las interferencias eléctricas y se disminuía de forma notable la distorsión en comparación con las transmisiones en modulación de amplitud.

Se disponía ya de fuentes sonoras que podían considerarse de Hi-Fi y equipos para reproducirlas con notable perfección; pero no por ello acabaron los adelantos. Una nueva idea fue la que impulsó al técnico a conseguir otro fin.

Aunque los medios para reproducir un sonido de forma técnicamente perfecta eran una rea-



lidad, ese sonido difería en algo sustancial del que se percibía, por ejemplo, en una sala de conciertos. Es decir: un oyente sentado en la sala obtenía una sensación diferente a la que daba el equipo que reproducía la misma pieza escuchada en la sala. ¡Le faltaba la sensación de profundidad, la distribución en el espacio! En la sala, con los ojos cerrados, se puede adivinar fácilmente cual es la posición relativa de los instrumentos musicales. En la reproducción, en cambio, se tenía la sensación de que todos los instrumentos estaban en un mismo punto.

Los nuevos esfuerzos se encaminaron a conseguir que la reproducción ofreciese la misma sensación de profundidad, de «relieve» sonoro, que se aprecia en una audición directa.

Se alcanzó la meta al resolver el problema que representaba la grabación de dos fuentes en un solo surco. Con esta solución nacieron los equipos estereofónicos.

Ahora estamos en este punto en lo concerniente a la Hi-Fi, aunque paralelamente a ese intento de conseguir una reproducción perfecta se ha desarrollado un sinfín de elementos destinados a obtener efectos especiales que proporcionan un determinado placer sonoro tales como la reverberación, el vibrato, etc., y a los que haremos mención al final de estas lecciones.

QUE ENTENDEMOS POR HI-FI

En libros sobre alta fidelidad y en el capítulo correspondiente al proyecto de equipos, pueden leerse frases como ésta: «Quien elabore el proyecto de un equipo, puede hacerlo de manera que, una vez armado y funcionando, sea posible la introducción de modificaciones.» Así, aquel primer equipo proyectado para una dosis no muy elevada de fidelidad puede, por sucesivas modificaciones, llegar a una elevada perfección audiofrecuente.

Cabría preguntarse: si lo que pretendemos como meta final es conseguir un equipo de alta fidelidad, ¿qué es lo que logramos en las etapas intermedias? Es decir, si en las sucesivas modificaciones de este proyecto queremos obtener una alta fidelidad técnicamente perfecta, ¿qué es lo que obtendremos primero? ¿Es que existen diferentes grados, para llamarlos de alguna manera, de alta fidelidad?

Este es el momento de puntualizar qué entendemos por alta fidelidad.

Como se desprende del propio sentido de la palabra, el concepto de fidelidad involucra la fiel reproducción del sonido original.

Bien; si la fidelidad es la reproducción fiel del sonido original, ¿por qué añadir la palabra *alta*? Cierto autor americano comparó esta expresión con otra muy común: la de manifestar que una persona es *muy honrada*. ¿Es que quien es muy honrado es más honrado que quien es simplemente honrado?

Diremos que una reproducción es fiel cuando sea exactamente igual al original; en cambio, cuando añadimos la palabra *alta* lo que queremos significar es que, no pudiendo obtener la reproducción fiel, nos contentamos con otra que se parezca al original todo lo que sea técnicamente posible; y así como en la reproducción *fiel* había una rigidez absoluta frente a la calidad del sonido, en la reproducción en alta fidelidad esa rigidez ha desaparecido, y en consecuencia sólo podrá esperarse una calidad relativa. Aquí es donde empiezan a aparecer las dudas; cada uno interpreta a su manera el término *relativa*, y en consecuencia aparece diversidad de opiniones respecto a su significado.

Alta fidelidad es, pues, una expresión convencional que ha significado distintas cosas para diferentes personas. Si quien la pronuncia es un vendedor de amplificadores o de altavoces, seguramente para él alta fidelidad significará un sonido tan parecido al original como pueda lograrse. En cambio, para un vendedor de maletas tocadiscos querrá significar un sonido todo lo bueno que pueda obtenerse cuando lo proporcionan los modelos que vende.

Vemos que entre los que podríamos llamar *consumidores de alta fidelidad* el sentido de la expresión es muy diferente; no debe extrañarnos que esta diversidad subsista también entre los *proveedores de alta fidelidad*, o sea, entre los técnicos.

CUAL ES LA OPINION DE UN TECNICO

Echemos una ojeada a algunas de las opiniones de los técnicos.

Mientras hay quien define la alta fidelidad como *una reproducción capaz de satisfacer al oído*,

no falta aquel para el cual la Hi-Fi es *la reproducción más exacta, desde el punto de vista técnico, del sonido original.*

Existe, sin embargo, un punto en el que concuerdan todas las opiniones: considerar como reproducción en alta fidelidad aquella que *no puede distinguirse del original* y que logra un alcance dinámico de su misma magnitud.

Para dar la impresión cabal de alta fidelidad, el sistema tendrá que hallarse en condiciones de lograr un alcance dinámico de la misma magnitud que el sonido original, sin el cual la música aparecería despojada de su relieve exacto.

Esta condición es imprescindible para un oído estrictamente musical.

Para otros, la reproducción exacta del sonido original no encierra una esencial importancia en miras a la obtención del placer auditivo.

Observemos que una condición que para una persona puede resultar indispensable para que el equipo satisfaga plenamente sus gustos, para otra tiene tan sólo un aspecto auxiliar.

Con un poco de agudeza podrían verse en los tipos de gustos descritos otros tantos tipos de aficionados a la alta fidelidad. El primero: un amante de la música; su única exigencia es escuchar la reproducción con una calidad suficiente como para obtener la reproducción del ambiente auditivo de la sala de conciertos. El segundo: un técnico puritano; su observación estará dirigida hacia las diversas respuestas del equipo y será capaz de fijar con asombrosa exactitud la distorsión del aparato. Encontrará el placer auditivo al conseguir sonidos de elevada potencia con una distorsión mínima. Su interés no es demasiado estético.

Entre estos dos tipos de aficionados con gustos extremos cabe, lógicamente, un conjunto de tipos que, siendo amantes de la música, están técnicamente interesados en obtener una distorsión mínima.

Ante estos tres tipos, que podrían considerarse como espejos de casi todos los demás, cabría seguramente la posibilidad de justificar las diferentes versiones de lo que se entiende por alta fidelidad.

Para el primero, seguramente, la alta fidelidad es una reproducción capaz de causar el máximo placer al oído. Un medio que le permite, sentado en el hogar, sentirse espiritualmente desplazado al ambiente de una sala de conciertos.

Para la segunda persona, la alta fidelidad debe ser un sistema mediante el cual se logra reproducir un sonido de forma técnicamente perfecta.

Por último, para el tercero una reproducción será de alta fidelidad cuando sea igual al original (condición que le impondrá su sentido técnico) y a la vez tenga su mismo alcance dinámico.

Ante esta diversidad de opiniones y variedad de gustos, es lógica la ausencia de una definición exacta de lo que es alta fidelidad. Ello no impide, sin embargo, que sea una técnica muy avanzada.

QUE QUEREMOS CONSEGUIR EN UNA REPRODUCCION DE HI-FI

De acuerdo con todo lo anterior, puede considerarse lograda una reproducción de alta fidelidad cuando se consigue obtenerla ausente de distorsión y se logra un efecto acústico agradable

al oído. Con el fin de conseguir este efecto incluso pueden introducirse intencionadamente algunas deformaciones.

En una reproducción de alta fidelidad es imprescindible suprimir varias especies de deformaciones que se hacen patentes en los equipos amplificadores y reproductores; pero también algunas veces las deficiencias en los susodichos sistemas electroacústicos contribuyen a aumentar la dosis de placer que proporcionan al oído; en esos casos se prefiere la reproducción con esas deformaciones a la verdaderamente fiel.

Lo que ocurre en la reproducción del sonido en alta fidelidad respecto a gustos y equipo podría explicarse con el siguiente hecho:

Una manifestación de arte llega a nosotros por medio de un artista. Este artista tiene sus admiradores, sus seguidores, su público, al que agrada y complace porque sabe satisfacer sus gustos, porque capta y transmite una manifestación estética según un concepto igual al que cada uno de sus seguidores de ella formaría. Así, conocedor de la psicología de quienes le admiran, sabe cuándo no va a complacerles lo real por sí mismo y lo modela, lo disfraza, añadiéndole algo bello o quitándole algo desagradable.

Igual ocurre en alta fidelidad. Digamos ahora que el artista es el equipo reproductor, que sus seguidores son los aficionados que lo poseen y que la manifestación artística es la fuente sonora.

Consideremos al artista, equipo reproductor en nuestro caso. Le suponemos capacitado para transmitir el arte a la medida de los gustos de sus seguidores. Esta es la condición que el aficionado exige al equipo; ha de ser capaz de transmitir perfectamente la fuente sonora; es decir, ha de estar provisto de los dispositivos suficientes para que el aficionado pueda obtener una reproducción de la fuente sonora según sus gustos.

El artista que posee las cualidades que se le han atribuido puede, ante una manifestación estética, transmitirla tal cual es o modelarla hasta adaptarla al gusto de sus seguidores.

De la misma manera, un equipo reproductor está provisto de controles con que el aficionado puede modificar el sonido original y adaptarlo a su gusto. Estos controles son capaces de compensar ciertos defectos o suprimir ciertas frecuencias, a la vez que pueden mejorar otros defectos hasta identificarse con un sentido estético musical determinado.

A este respecto puede indicarse el caso de la supresión voluntaria de la respuesta en la parte de las frecuencias agudas, para eliminar en la reproducción de discos el llamado ruido de superficie o ruido de púa, y también la supresión deliberada de la respuesta de bajas frecuencias más allá de cierto límite inferior para eliminar el efecto mecánico del ronroneo del motor.

Pero una consideración más detenida sobre este aspecto conduce a apreciar mejor estos términos. Efectivamente: si lo que se pretende es reproducir el sonido de manera idéntica al original, las deformaciones, y mucho más el ruido de púa o ronroneo, deberán dejar de existir. Pero estos defectos se han introducido durante el proceso de grabación y reproducción a lo largo de la cadena audiofrecuente; y si para suprimir esta deformación se incorpora otra deformación consistente en mutilar la gama de frecuencias que se reproduce, habremos desvestido a un santo para vestir a otro. Entendamos que el hecho de que el resultado de reproducir discos con ruido de púa en una mesa imperfecta sea más agradable cuando se mutila la gama de frecuencias en ambos extremos, no quiere decir que esta solución pueda calificarse de alta fidelidad. Lo que en realidad representa poder modificar el sonido de la fuente sonora, es que la técnica ha introducido medios capaces de modificar el volumen de algunas frecuencias, de exagerar el rango dinámico o de conseguir efectos especiales adecuados que entran en acción tanto en el proceso de grabación como en el de reproducción.

En conclusión, puede decirse que la técnica pone en manos del aficionado medios para conseguir verdadera fidelidad; pero sólo depende de sus gustos que el usuario los emplee en conseguir alta fidelidad o en artilugios que le proporcionen un mayor placer auditivo.

COMO PODRIAMOS DEFINIR LA HI-FI

Si se hubiera logrado la fidelidad perfecta (la similitud absoluta del sonido reproducido y el original), nos bastaría con decir que el reproductor es fiel.

Pero la ALTA FIDELIDAD NO ES UN VALOR ABSOLUTO COMO LA DEFINICIÓN: ALTA FIDELIDAD ES LA RAMA DE LA AUDIOFRECUENCIA QUE TIENDE A PONER LOS MEDIOS PARA REPRODUCIR LOS SONIDOS COMO UNA RÉPLICA EXACTA DEL SONIDO ORIGINAL.

Decimos *tiende a poner los medios* porque es-

tos medios, en el momento actual, son los que realmente limitan su calidad absoluta. Hay que admitir, empero, que se ha progresado mucho sobre los valores que se tomaban como patrón hace unos pocos años. No podemos lograr la fidelidad absoluta por cuanto no poseemos medios para medirla; pero la alta fidelidad que se consigue hoy discrepa en muy poco de la verdadera fidelidad, y el reducir la diferencia es más una cuestión de precio que de técnica.

CALIDAD Y PRECIO

Hace muy pocos años, la alta fidelidad constituía un ideal al que sólo podía aspirar un reducido número de aficionados capaces de soportar los dispendios que suponía la adquisición del material. Hoy la situación es muy diferente.

Actualmente el aficionado a la alta fidelidad cuenta con fuentes sonoras (discos, emisiones radiofónicas en FM, magnetofonos, etc.) y con equipos de reproducción técnicamente muy superiores a los de algunos años atrás.

Se ha logrado el diseño de equipos que unen a la calidad la ventaja de tener un precio relativamente bajo.

Sin embargo, no puede soslayarse el aspecto económico en lo concerniente a los resultados que se pretenda obtener, pues la perfección técnica de un equipo está siempre en razón directa a su coste y el factor técnico casi siempre está subordinado al factor económico.

Si quiere equiparse un sistema de alta fidelidad con todos los diferentes dispositivos existentes, el resultado que puede obtenerse es indudablemente muy satisfactorio. Sin llegar a una verdadera fidelidad, el grado de similitud entre el sonido obtenido y el original sería verdaderamente asombroso.

Teniendo en cuenta que cada dispositivo tiene un coste tanto más elevado cuanto mejor sea su calidad, un equipo será tanto más caro cuantos más dispositivos contenga y de mejor calidad sean éstos.

Por tanto, la limitación de calidad en el aspecto técnico depende del factor económico: *lo único que limita la calidad de un equipo es su coste.*

El encargado de realizar el proyecto de un equipo de alta fidelidad deberá poner todos los medios a su alcance para conseguir el mejor sonido que sea posible. Puede elegir entre mucho material destinado a cumplir el fin propuesto; su labor consistirá en saber escogerlo y combinarlo.

En primer lugar, y por aquello de que una cadena no es más fuerte que el más débil de sus eslabones, tendrá que elegir materiales de una calidad pareja. De nada servirá poseer un amplificador de una banda muy ancha si el altavoz es incapaz de reproducirla o el fonocaptor de extraerla de la fuente sonora. Es decir: ante todo hay que fijar el grado de perfección técnica que se quiere conseguir y luego elegir el material que pueda alcanzarlo.

En la elección de este material es donde aparece la importancia del factor económico. Y, desde luego, existen siempre varias soluciones para el problema.

Por ejemplo: en lo que concierne al amplificador, con miras a la separación de la gama de frecuencias en dos o tres bandas, caben dos soluciones:

a) Emplear un filtro separador a la salida del amplificador.

b) Colocar el filtro a la salida del preamplificador y emplear dos o tres amplificadores de potencia.

Técnicamente ¿cuál es la solución mejor? Indudablemente la *b*).

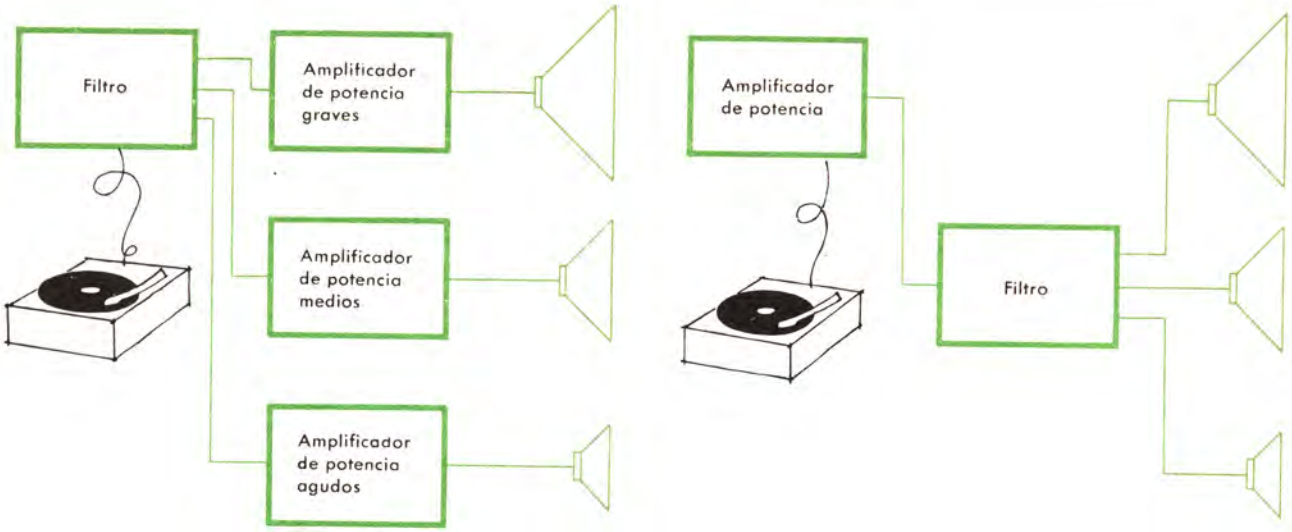
Económicamente ¿cuál es más cara? También la segunda.

Ahora bien: sucede que entre la calidad del sonido obtenido con la solución *b*) o con la *a*) la diferencia no es mucha. En cambio, la diferencia en el coste es realmente considerable.

Entonces, cabe preguntarse: la mejora obtenida en el sonido ¿vale realmente el aumento de precio que comporta? Si hay una limitación en el presupuesto, la segunda solución no alcanza resultados que justifiquen el elevado coste de los dos o tres amplificadores.

Con este solo ejemplo, que podría generalizarse para todos los dispositivos del equipo cambiando el aspecto técnico y conservando el económico, puede, por un lado, reafirmarse lo dicho al principio: la perfección técnica es función del coste. Por otro lado, dejar bien sentado que la mejora conseguida en el aspecto técnico de un equipo no guarda proporción directa con el incremento de su coste.

Considerando la calidad de un equipo como una función de su precio, cabría representarla en



He aquí dos soluciones que ilustran la relación calidad-precio en los equipos de Hi-Fi. El primer equipo, que utiliza tres amplificadores independientes para los sonidos graves, medios y agudos, proporciona una calidad sonora ALGO MEJOR que el segundo que utiliza uno sólo; su precio en cambio es MUCHO MAYOR.

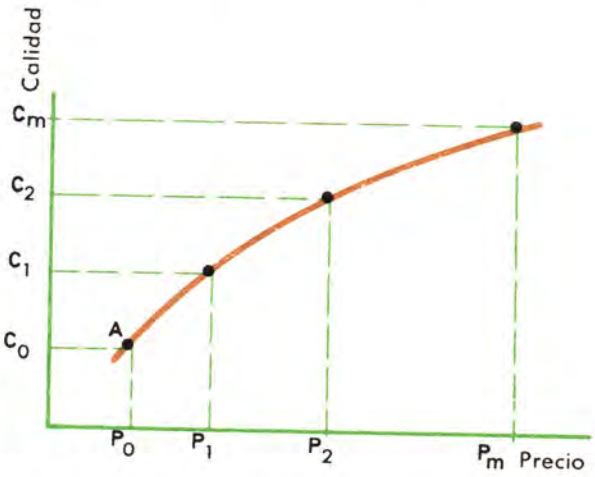
un sistema de ejes cartesianos en cuyas abscisas se tomasen los costos y en las ordenadas las calidades. La curva obtenida sería similar a la de la figura.

De esa curva sacamos algunas conclusiones interesantes. En primer lugar vemos que la curva no empieza en el origen, sino en un punto A al que corresponde una calidad C_0 y un precio P_0, que podríamos convenir en llamar calidad mínima en un equipo de alta fidelidad y precio para obtener esta calidad.

Si queremos aumentar la calidad del sistema hasta un punto C_1, tendremos un precio P_1 correspondiente a esta calidad. Aumentando la calidad en la misma magnitud que antes llegaríamos a C_2, que con respecto a P_1 representa un aumento muy superior al que se había obtenido al pasar de P_0 a P_1. Finalmente, C_m podría representar la calidad máxima en el actual estado de la técnica y P_m su correspondiente coste.

Valga este gráfico como idea, y sólo como idea, de lo que realmente ocurre, pues dar todo lo anterior como artículo de fe es por entero inadmisible.

Lo único que hemos pretendido ha sido fijar la idea de que un aumento en el precio de un equipo supone un aumento en la calidad que puede obtenerse; pero que este aumento no es proporcional, ni mucho menos, al incremento de la calidad. Además, interesa puntualizar que a partir de cierto punto un pequeño aumento en la calidad (casi imperceptible al imperfecto oído humano) supone un dispendio económico desmedido, de tal manera que la mejora no está justificada en proporción a su coste, a no ser que el equipo se destine a estudios de laboratorio o a técnicas profesionales, o bien en el caso venturoso de que un presupuesto elevado no represente ningún problema.



En resumen: la técnica dispone de medios suficientes para satisfacer el gusto del audiófilo más exigente. En función de sus exigencias habrá un coste para su equipo. O inversamente: si es el presupuesto lo que se fija, este presupuesto es el que determina la calidad. Las mejoras en la calidad suponen aumentos en el precio que no son proporcionales.

Conviene retener esta idea: *el precio de los equipos de Hi-Fi aumenta con mucha mayor celeridad que su calidad.*

EL SONIDO QUE REPRODUCIMOS

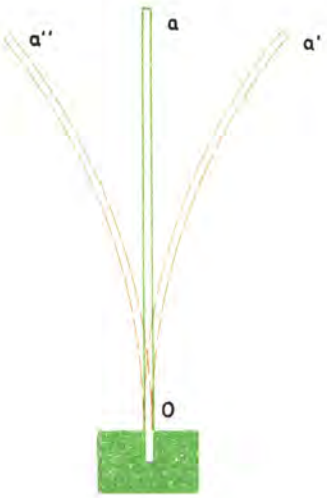
Cabe considerar el sonido en un doble aspecto: como un fenómeno físico poseído de ciertas cualidades y como algo capaz de impresionar el sentido auditivo.

Esta dualidad lleva a estudiar el sonido desde dos puntos de vista distintos: el físico y el psicológico.

El sonido como fenómeno físico

Veamos mediante el siguiente ejemplo cómo se produce el sonido:

Tenemos una varilla metálica, sujeta por uno de sus extremos, que separamos de su posición de equilibrio hasta la posicón *oa*. Si en este punto se abandona la varilla a sí misma, se observa cómo empieza a oscilar a la vez que se percibe un sonido.



Veamos con detalle qué ocurre para que se produzca el sonido:

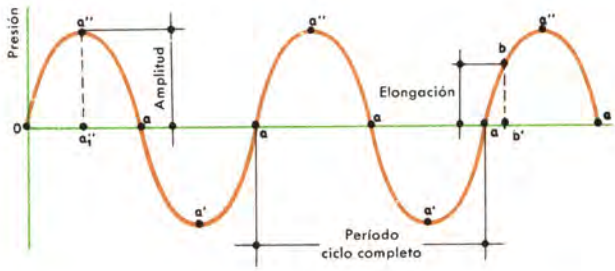
La lámina está envuelta por un medio material, aire en nuestro caso. Cuando la lámina pasa de su posición *oa'* a la de *oa''* comprime el aire situado a su izquierda, a la vez que se produce un enrarecimiento del aire situado a su derecha. Dicho de otra manera: a la izquierda de la lámina (al comprimir el aire) se produce un aumento de presión, mientras que a la derecha se produce una disminución de la presión, o sea una depresión. Al pasar después la varilla de la posición *oa''* a la *oa'*, o sea al iniciar en sentido inverso el camino recorrido primeramente, la depresión se produce a la izquierda, mientras que a la derecha tiene lugar un aumento de presión.

Fijando nuestra atención en un punto cualquiera (tomemos *A'*, por ejemplo) observaremos que en él ocurren variaciones de presión: alternativamente tienen lugar aumentos y disminuciones de la misma, que estudiaremos en función del tiempo.

Tomamos *ca* como posición inicial de la varilla, y como presión cero la que hay en este instante en el punto *A*.

Al desplazarse la varilla de *oa* a *oa''* comprime el aire a su izquierda, por lo que aumenta la presión de todos los puntos situados a este lado de la varilla y en consecuencia también la presión en el punto *A*. La presión aumenta hasta que la varilla llega a *oa''*, donde alcanza un valor máximo. Al llegar a *oa''* se detiene e inicia el movimiento en sentido contrario. Entonces aumenta la presión en la derecha de la varilla a la vez que disminuye en los puntos situados a su izquierda, por lo que la presión en *A* empieza a disminuir y alcanza el mismo valor que al empezar el ciclo cuando pase por *oa*. Al rebasar esta posición y continuar el camino de *oa'*, prosigue la disminución de la presión hasta que la lámina alcanza la posición *oa'*, punto en el cual la presión de *A* pasa por un valor mínimo. En este punto la lámina se detiene y cambia de nuevo el sentido del movimiento para dirigirse a *oa;* al propio tiempo va aumentando la presión en A, hasta alcanzar la lámina el valor inicial al pasar por *oa*. Ahora la lámina está en *ao* y se dirige a *oa''*, igual que como ocurría en el instante inicial; la lámina prosigue su movimiento describiendo un ciclo idéntico al anterior.

Representando estas variaciones de presión en función del tiempo obtendríamos una curva como la indicada en la figura, en la cual cada valor de la presión *A* se ha designado por la letra correspondiente a la posición de la lámina.



El recorrido efectuado por la lámina al pasar por la posición *oa* dos veces consecutivas y en el mismo sentido constituye un CICLO COMPLETO.

La magnitud $aa' = aa''$ que representa el desplazamiento máximo del extremo de la varilla, se denomina AMPLITUD DE LA VIBRACIÓN.

La distancia a''-a_1'' entre el punto a'' de la curva presión-tiempo y su proyección sobre la abscisa se denomina AMPLITUD DE LA PRESIÓN.

La distancia bb' entre un punto cualquiera b de la curva y su proyección sobre el eje de abscisas es LA PRESIÓN INSTANTÁNEA.

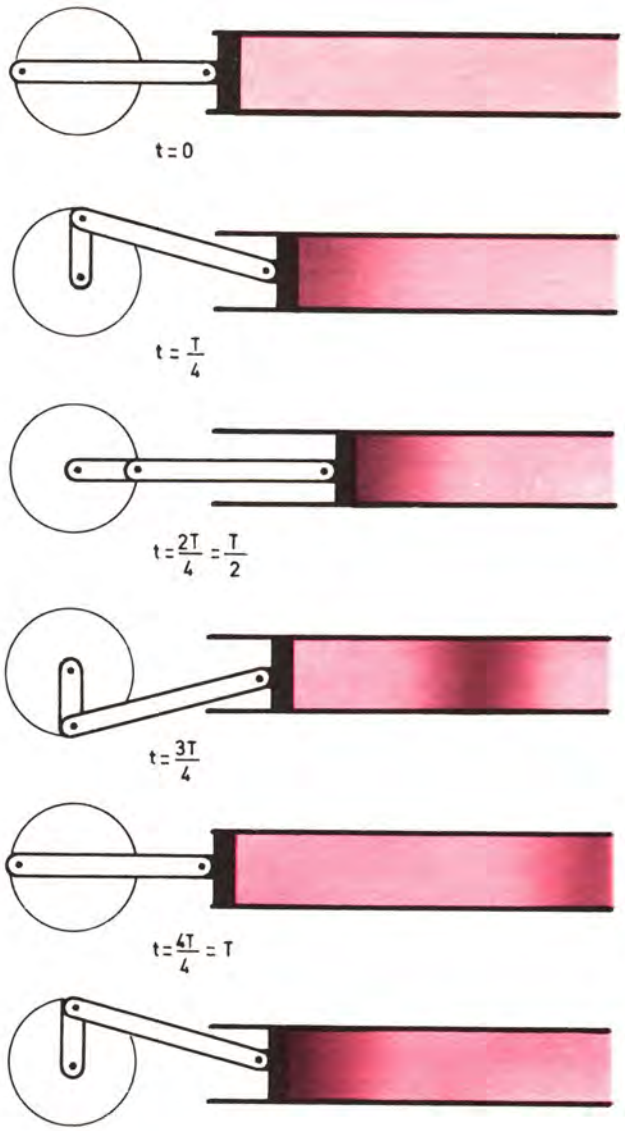
El tiempo empleado por la lámina en realizar un ciclo completo se denomina PERÍODO y se designa por T. A su inverso, o sea a 1/T, se le da el nombre de FRECUENCIA, que designamos por F, representando el número de ciclos completos descritos en un segundo.

Hemos visto cómo en cada punto el aire sufre contracciones y dilataciones sucesivas a medida que transcurre el tiempo; esas variaciones de presión ponen en vibración las partículas del medio, movimiento que se transmite de unas a otras, por lo que estas vibraciones se propagan sucesivamente a puntos más alejados de donde se han producido.

Para comprender la mecánica de la propagación de las ondas de presión, consideremos un tubo largo lleno de gas, en uno de cuyos extremos se ha colocado un émbolo capaz de deslizarse por su interior al ser accionado por un mecanismo biela manivela como se representa en la figura. Materializaremos el gas interor del tubo por medio de puntos. Las zonas en que los puntos están más juntos significan compresiones, o sea puntos en los que la presión ha sufrido un aumento. Las partes en las que los puntos están más separados significan enrarecimiento del gas, y por tanto puntos en que la presión ha sufrido un descenso.

Al iniciar el movimiento del émbolo hacia la derecha se produce ante él un frente en que existe un aumento de presión, frente que se propaga a través del tubo a medida que el émbolo va avanzando. Pero en el instante $t = 2T/4 = T/2$ el émbolo empieza a retroceder, formándose entonces delante de él un enrarecimiento que continúa hasta el instante $t = 4T/4 = T$; pero el frente de presión no ha retrocedido con el émbolo, sino que continúa avanzando a través del tubo a pesar de haberse separado de la superficie de dicho émbolo.

Exactamente esto es lo que ocurre con la varilla. Allí las variaciones de presión están producidas por las vibraciones de la lámina; pero esas variaciones se propagan a través del aire de la



misma manera que como lo hace a través del tubo en el caso del émbolo.

Esta es la forma en que avanza este tipo de ondas que llamamos longitudinales.

Estas ondas se propagan a través del espacio y alcanzan puntos más o menos alejados, uno de los cuales puede ser, por ejemplo, el oído humano. A medida que van llegando, los frentes de onda producen variaciones de presión de la misma frecuencia que la vibración del cuerpo que las genera.

Sin embargo, las ondas longitudinales no pueden considerarse como simples portadoras de estas variaciones de presión, sino que en esta función lo que en realidad hacen es transportar ener-

gía. Esta energía es la que tenía el cuerpo en vibración, la cual se ha transmitido al medio circundante provocando desplazamientos relativos de masas de aire.

Lo anterior constituye el fenómeno físico que podríamos resumir así: al vibrar un cuerpo produce en el medio que se encuentra una perturbación identificada por sucesivas variaciones de presión que dan lugar a un determinado tipo de ondas llamadas longitudinales, ondas sonoras u ondas de presión, que se propagan a través de este medio transportando energía a una determinada velocidad.

Veamos cuál es esa velocidad. Llamamos longitud de onda, y la representamos por λ, a la distancia recorrida por un frente de onda en un tiempo igual a un período. Luego, sabiendo que:

$$\text{velocidad} = \frac{\text{espacio}}{\text{tiempo}}$$

tendremos,

$$V = \frac{\lambda}{T}$$

La velocidad de propagación de las ondas sonoras es constante para cada medio y tan sólo depende de la naturaleza de éste.

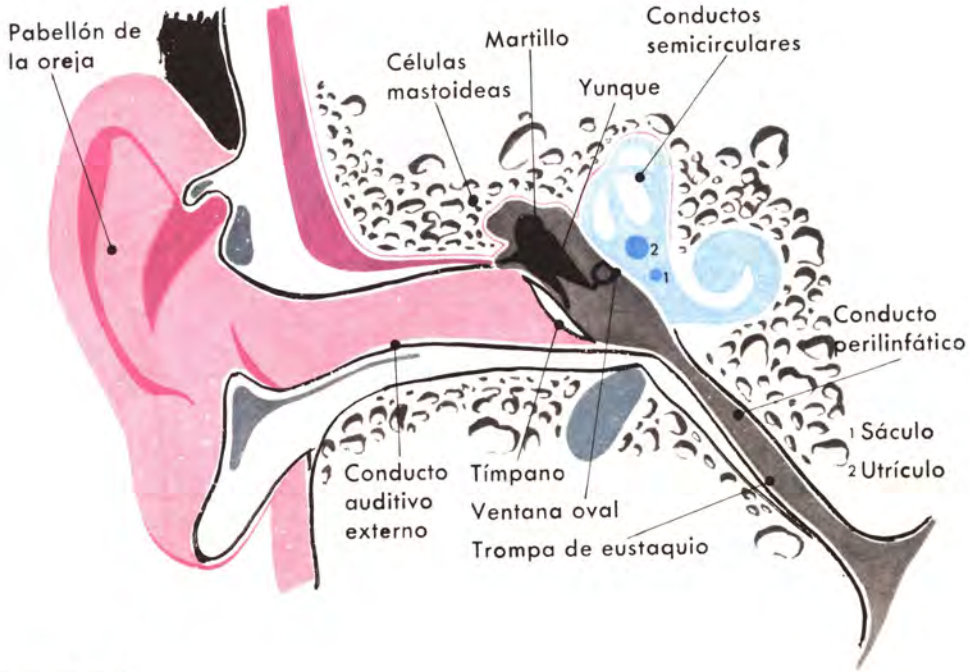
Considerando todo lo dicho podríamos definir el sonido en cuanto a fenómeno físico: EL SONIDO, COMO FENÓMENO FÍSICO, ES UNA PERTURBACIÓN DEL MEDIO PRODUCIDA POR UNA FORMA DE ENERGÍA IRRADIADA POR UN CUERPO EN VIBRACIÓN Y QUE SE TRANSMITE BAJO LA FORMA DE ONDAS DE PRESIÓN.

EL SONIDO COMO FENOMENO PSICOLOGICO

Cuando la perturbación alcanza un punto determinado, se producen en él variaciones de presión, en función del tiempo, de frecuencia *f* igual a la de vibración del cuerpo que la produce.

Supongamos que en este punto, separado por cierta distancia de la lámina de vibración, se encuentra el oído. Las variaciones de presión que se produzcan en este punto, alcanzarán la membrana timpánica, que en consecuencia vibrará con la misma frecuencia que la lámina. La vibración de la membrana se transmite a través del oído medio interno hasta el órgano receptor auditivo (órgano de Corti), donde se transforma en estímulo nervioso que transmitido al cerebro se transforma en sensación auditiva.

Este es, en esencia, el fenómeno psicológico. Según este punto de vista, el sonido es UNA PERTURBACIÓN DEL MEDIO QUE AL ALCANZAR EL OÍDO PRODUCE LA SENSACIÓN AUDITIVA. La figura adjunta ilustra la anatomía de ese órgano.



Corte esquemático del oído.

CUALIDADES DEL SONIDO

Es un hecho evidente que la sensación producida por cada sonido es diferente. Por otra parte, si esta sensación se debe a la onda de presión que ha llegado al oído, hay que admitir la existencia de una desigualdad entre las ondas de presión portadoras de los diferentes sonidos. Cada onda debe de tener, en consecuencia, unas cualidades que la diferencien de las demás. Llamamos intensidad, tono y timbre a estas cualidades.

Nos ocuparemos de cada una de ellas y de sus relaciones mutuas, considerando su doble aspecto: por un lado como cualidad del fenómeno físico y por otro como repercusión en la sensación auditiva.

INTENSIDAD

Volviendo a la varilla anteriormente citada, puede comprobarse que cuanto más se separe de la posición de equilibrio antes de abandonarla a sí misma, más fuerte es el sonido que se percibe. Decimos que el sonido es más intenso, o sea que su cualidad *intensidad* ha variado.

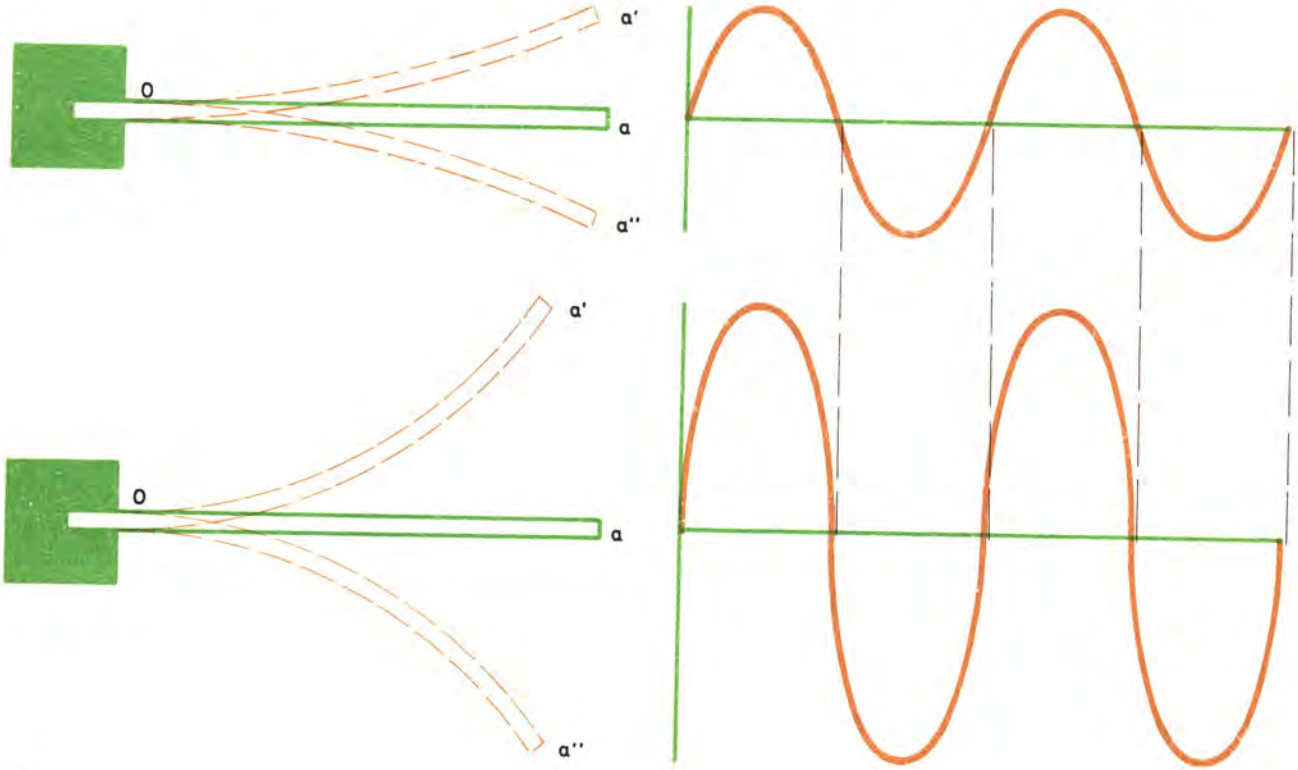
Veamos qué es lo que ha ocurrido. Al separar más la varilla, sus vibraciones tienen una amplitud mayor y por lo tanto mayores son también las variaciones de presión que producen estas vibraciones. Cuando la perturbación alcanze el oído la membrana timpánica vibra también con mayor amplitud, y por lo tanto es más intensa la sensación auditiva.

Dicho de otra manera: la energía liberada por la lámina es mayor cuando aumenta la amplitud de sus vibraciones, aumentando también la energía que transporta la onda sonora. En consecuencia, la energía que llegue al oído debe ser igualmente superior, provocando una vibración más intensa del tímpano.

Un sonido es tanto más intenso cuanta más energía transporte la onda sonora. La cantidad de esta energía que en cada segundo alcanza la unidad de superficie colocada normalmente a la dirección de propagación de la onda constituye una medida de la intensidad del sonido.

Ahora bien: energía por unidad de tiempo es potencia. Luego, la intensidad de un sonido es la potencia que puede desarrollar la onda que lo propaga por unidad de superficie.

Así, cuando afirmamos que la potencia de un equipo es de P vatios lo que realmente expresamos es que la vibración del altavoz es capaz de



producir una onda sonora que desarrolle esta potencia por unidad de superficie, suponiendo, claro, que toda la energía que el altavoz recibe del amplificador se convierta en energía sonora, cosa que en la práctica siempre está lejos de ocurrir.

Por tanto, hablar de intensidad de un sonido o de potencia son dos formas diferentes de expresar una cantidad de una misma cualidad.

INTENSIDAD Y SENSACION AUDITIVA

Hemos visto que una variación en la intensidad del sonido produce una variación cualitativamente igual en la sensación auditiva. Veamos cuál es la relación existente entre estas dos variaciones.

Para obtener esta relación dispondremos de un generador de baja frecuencia cuya salida se aplica a la entrada de un amplificador. Al poner en marcha el dispositivo con una determinada frecuencia en el generador, se percibe un sonido por el altavoz.

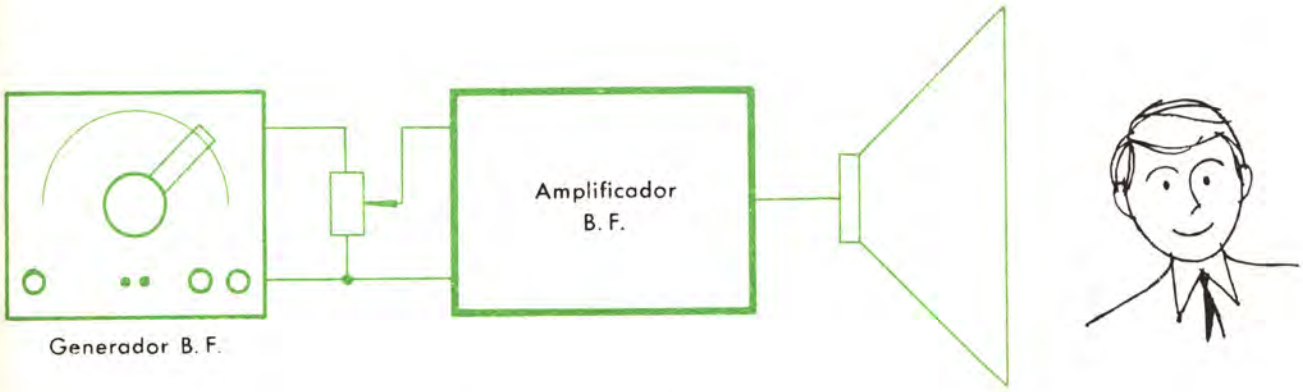
Supongamos un auditor provisto de un oído que convendremos en llamar normal (lo que equivaldría a decir que clínicamente está desprovisto de cualquier defecto y que por otra parte tampoco está superdotado) que percibe la señal generada por el oscilador, cuya frecuencia podemos suponer, por ejemplo, de 1000 ciclos por segundo, y propongámonos hallar cuál es la intensidad mínima capaz de causar sensación auditiva.

Accionemos el potenciómetro correspondiente al volumen y aumentemos la potencia de salida hasta que el altavoz empiece a vibrar con una amplitud suficiente para que el oyente pueda percibir la señal. En este instante el altavoz suministra la potencia mínima que puede impresionar el oído a una frecuencia de 1000 ciclos.

Medimos la potencia correspondiente y encontramos que, para esos 1000 ciclos, la intensidad sonora mínima que tiene que llegar al oído para que se produzca sensación auditiva es de 10^{-16} W/cm², que en adelante desingnaremos por W_0 y que llamaremos *umbral auditivo para mil ciclos*, nombre dado a esta intensidad por ser la que determina el punto que separa las potencias audibles de las que no lo son.

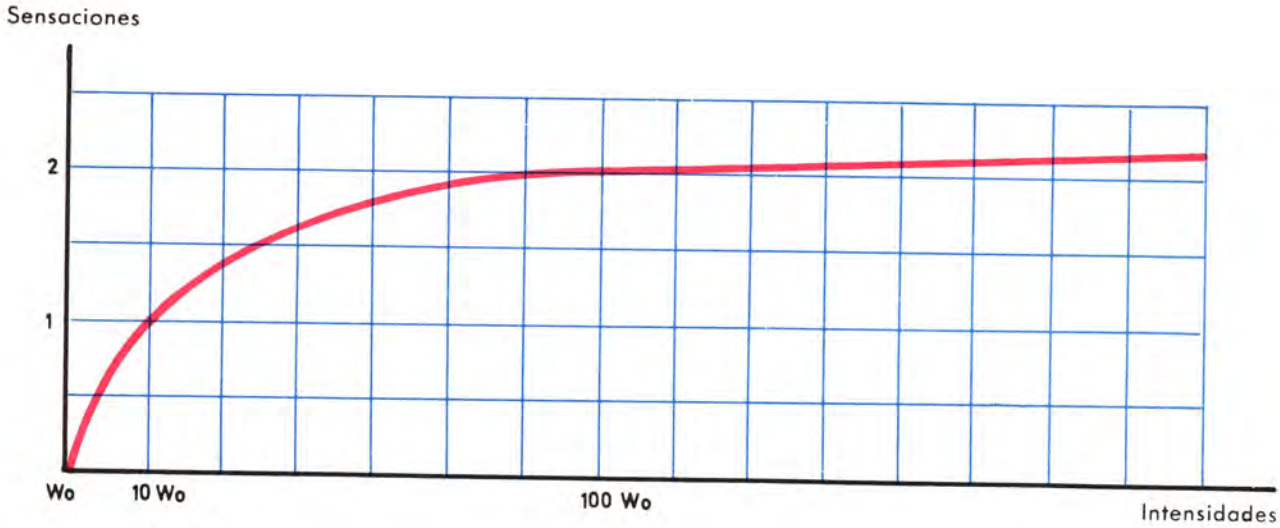
Intentaremos determinar ahora qué relación existe entre las variaciones de potencia sonora que alcanzan el oído y las variaciones de sensación que producen. Es decir: pretendemos saber en cuánto debemos aumentar la potencia para obtener un determinado aumento de la sensación; por ejemplo, cuánto hay que aumentar una potencia dada para obtener una sensación doble de la que esta potencia produce.

Tomemos como referencia la potencia umbral de 1000 ciclos W_0; empleando el mismo sistema anterior (generador-sistema amplificador), aumentemos gradualmente la potencia. Asignemos el valor 1 a la sensación correspondiente a una potencia diez veces superior a la umbral (10 W_0) —después podremos justificar la elección de este valor—, y busquemos cuál ha de ser la potencia para que esta sensación sea el doble. Aumentamos gradualmente la potencia hasta obtener la sensación doble, que designamos por el valor 2, y observamos que para conseguirla necesitamos que la potencia aumente hasta cien veces W_0 (100 W_0)



He aquí indicado simbólicamente el equipo que nos permitirá estudiar la relación entre las intensidades sonoras y las sensaciones auditivas.

Los aumentos de intensidad y sensación sonora no son proporcionales, sino que a medida que aumenta la intensidad los consiguientes aumentos de sensación son cada vez menores.



y no el doble como podría creerse: *para pasar de la sensación 1 (que obteníamos con una potencia 10 W_0) a una sensación doble (2), necesitamos aumentar diez veces la potencia.*

Siguiendo por esta vía experimental, indaguemos qué potencia es necesaria para obtener una sensación tres veces superior a la sensación 1 (la que nos producía la potencia 10 W_0). La designamos sensación 3, y llegamos a la conclusión de que para conseguirla hace falta una potencia mil veces superior a la umbral, o sea, diez veces la necesaria para obtener la sensación 2.

Llegados aquí ya podemos suponer qué ocurrirá al intentar obtener la sensación 4; naturalmente, haría falta una potencia diez veces superior a la que daba la sensación 3. Esta ley sigue inalterable para los sucesivos aumentos de sensación.

Podemos confeccionar una tabla. En una columna situamos las potencias y en otra las sensaciones que nos producen.

POTENCIAS	SENSACIONES
1 W_0	0
10 W_0	1
100 W_0	2
1000 W_0	3
10000 W_0	4
100000 W_0	5
1000000 W_0	6

Pero observemos que $10^0 = 1$, $10^1 = 10$, $10^2 = 100$, $10^3 = 1000$, etc., por lo que puede darse y que AFHA decide qué es lo correcto.

POTENCIAS	SENSACIONES
10^0 W_0	0
10^1 W_0	1
10^2 W_0	2
10^3 W_0	3
10^4 W_0	4
10^5 W_0	5

Al examinar dicha tabla veremos que las sensaciones producidas son idénticas a los exponentes que afectan al diez del factor que multiplica a la potencia que hemos tomado como referencia.

Vemos con lo anterior que mientras aumentan las sensaciones según 1, 2, 3..., tenemos que aumentar las potencias para conseguirlas según 10, 100, 1000, 10000...

Hemos obtenido lo que nos habíamos propuesto: encontrar una relación entre las potencias y las sensaciones que producen. A todo aumento unitario de la sensación sonora corresponde un aumento de la potencia diez veces superior.

Una relación de este tipo se llama logarítmica, por lo que podemos afirmar que el oído, en cuanto a sensaciones sonoras se refiere, posee la facultad de responder logarítmicamente a las variaciones de potencia.

COMO MEDIMOS LAS VARIACIONES DE POTENCIA

Fíjese en un detalle: con una potencia 10 W_0 obtenemos una sensación unitaria en la escala de sensaciones y con 100 W_0 aumenta la sensación a una unidad. Es decir: si recibiendo una onda sonora con una potencia de 100 W_0 pasamos la sensación de uno a dos, la aumentamos en una unidad. En cambio, si estamos recibiendo una onda sonora de potencia 100 W_0 tendremos una sensación 2; para incrementarla en una unidad y obtener una sensación 3 requiere una potencia de 1000 W_0, o sea un aumento de 900 W_0.

Podemos darnos cuenta de algo importante: el que la potencia de un sonido aumente en cierto número de vatios no representa tener ninguna idea sobre el incremento de la sensación que produce dicho aumento de la potencia del sonido.

Para conocer el aumento de sensación producido NECESITAMOS SABER, ADEMÁS, DE QUÉ POTENCIA HEMOS PARTIDO.

Efectivamente; cuando estamos escuchando una onda sonora de potencia 10 W_0, un aumento en la potencia de 90 W_0 aumenta la sensación en una unidad. Pero si la onda que recibimos tiene una potencia de 100 W_0 un aumento de 90 W_0 apenas produce un cambio perceptible en la sensación. Para producir el mismo aumento que antes, necesitamos incrementar la potencia de 100 W_0 en 900 W_0 más.

Observamos, sin embargo, que una magnitud pertenece constante para idénticas variaciones de sensación: *la relación de potencias.*

Al pasar de una potencia $P_1 = 10\ W_0$ a otra $P_2 = 100\ W_0$, la relación P_2/P_1 es $100/10 = 10$. En los dos casos la relación entre la potencia inicial y la final es la misma; y teniendo en cuenta que $10 = 10^1$ podemos afirmar que EL VALOR DEL EXPONENTE QUE AFECTE AL 10 DE UN COCIENTE DE POTENCIAS DA EL INCREMENTO DE LA SENSACIÓN EN LAS UNIDADES EN QUE LA HEMOS MEDIDO, ya que el aumento de sensación ha sido de una unidad en los dos casos.

Veamos ahora que la relación P_3/P_1 es igual a 100, es decir a 10^2; luego entre P_3 y P_1 hay una variación de sensación de dos unidades.

Esta unidad que relaciona dos potencias es la llamada *belio*. Diremos que una potencia P_2 es un belio mayor que otra P_1 cuando $P_2/P_1 = 10$, o sea cuando $P_2 = 10\ P_1$. Habrá una diferencia de dos belios cuando $P_3/P_1 = 10^2$, o sea $P_3 = P_2 \times 100$. En general, al afirmar que P_n es n belios mayor que P_1 queremos expresar que $P_n = 10^n \times P_1$, o sea que $P_n/P_1 = 10^n$.

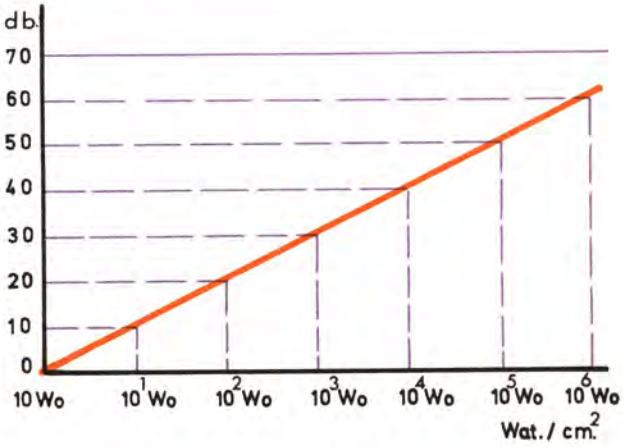
En vez de emplear el belio se utiliza en la práctica una unidad diez veces menor, el *decibelio*, que representamos db. Cada belio tiene 10 db; para obtener la relación entre dos potencias que difieren en cierto número de decibelios basta con dividir este número entre diez, con lo que se obtiene la relación en belios. Por tanto, es aplicable todo lo anterior.

Con esto hemos resuelto el problema muy frecuente de encontrar la relación que existe entre dos potencias que difieren en cierto número de decibelios.

Representemos en un sistema de ejes cartesianos los resultados obtenidos en las experiencias anteriores.

El eje de ordenadas representará db y el de las abscisas las potencias. En este eje tomaremos una escala práctica diferente de la que normalmente empleamos.

Hemos visto que el paso de un valor 10 W_0 a otro 100 W_0, en la potencia, da el mismo número de belios (1) o decibelios (10) que el paso de 100 W_0 a 1000 W_0 y que lo mismo podríamos decir de los pasos de 1000 W_0 a 10000 W_0, de 10000 a 100000, etc. Lógicamente, en el eje de potencias tomaremos distancias iguales para estos intervalos. *Una escala así concebida se denomina escala logarítmica.*



Con estas particularidades, la representación de la relación db-potencias es una recta, como se indica en la figura.

CURVA UMBRAL

Hemos visto que existe un valor de la intensidad sonora por debajo del cual es imposible obtener sensación auditiva. Este valor se denomina *intensidad umbral*; se ha obtenido (no lo olvide) para una frecuencia determinada (1000 ciclos en este caso).

Para otras frecuencias existe también un umbral auditivo. Cabe preguntarse si este umbral tendrá el mismo valor W_0 que tenía para los 1000 ciclos. Es decir: el umbral auditivo ¿es el mismo para todas las frecuencias? La respuesta es que no. Cada frecuencia tiene su umbral, cosa fácil de comprobar con el dispositivo que hemos montado; basta con variar la frecuencia del oscilador, que hasta ahora era de 1000 ciclos, y dejar intacto el potenciómetro de volumen.

Observamos que al aumentar la frecuencia a partir de 1000 ciclos la sensación crece hasta que la frecuencia alcanza los 4000 ciclos, a partir de la cual la sensación va disminuyendo hasta que se alcanza una frecuencia cercana a 6000 ciclos, punto en que deja de percibirse todo sonido.

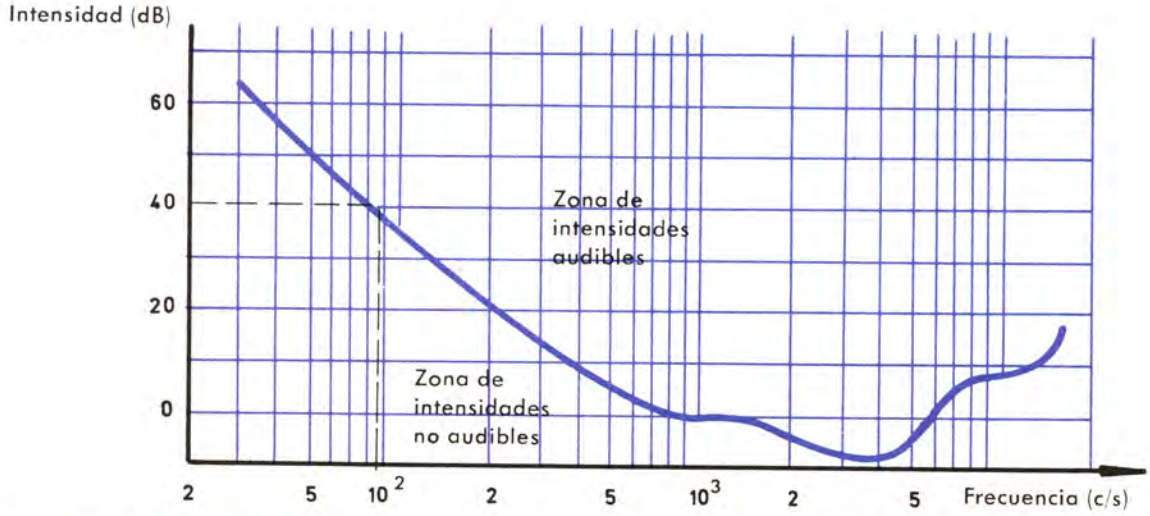
Podemos, por tanto, afirmar que para frecuencias comprendidas entre 1000 y 6000 ciclos el umbral auditivo es inferior a W_0 y que a partir de 6000 ciclos el umbral es mayor; es decir: necesitamos que llegue al oído una intensidad mayor para que empiece a impresionarle. Por lo contrario, si a partir de 1000 ciclos disminuimos la frecuencia en vez de aumentarla, deja de percibirse sonido alguno, de lo que se deduce que para frecuencias inferiores a 1000 ciclos el umbral es mayor que W_0.

Si se obtiene la intensidad umbral para cada frecuencia de la gama audible, a cada uno de estos valores le corresponde un punto en un sistema cartesiano en cuyas abscisas se representan las frecuencias y en las ordenadas las intensidades. Uniendo todos estos puntos se obtiene una curva denominada curva umbral. Todos los puntos de esta curva correspondientes a cada frecuencia representarán una división entre las intensidades audibles y las que no lo son.

Para representar esta curva la escala de abscisas es logarítmica y las intensidades indicadas en ordenadas se dan en decibelios. Pero hemos dicho que con decibelios no podemos medir el valor absoluto de una intensidad, sino una relación entre la intensidad que queremos medir y otra que tomamos como referencia. En esta representación se toma siempre como referencia la intensidad umbral a 1000 ciclos, o sea los 10^{-16} W/cm² que hemos llamado W_0. A esta intensidad le corresponde, naturalmente, cero decibelios.

Con todas estas particularidades podemos representar la curva umbral y deducir de ella las intensidades umbrales para cada frecuencia.

Por ejemplo: a 90 ciclos la curva alcanza una altura a la que corresponden 40 db, lo que significa que a esta frecuencia la intensidad umbral, a la que llamaremos W_{ao}, ha de ser $40/10 = 4$ belios mayor que W_0 Por tanto se verificará que $W_{ao}/W_0 = 10^4$, de donde $W_{ao} = 10^4\ W_0$. Es decir: la intensidad umbral correspondiente a una frecuencia de 90 c/s es diez mil veces mayor que la correspondiente a la frecuencia de 1000 c/s.



Representación de la curva umbral.

CURVA DE SENSACION DOLOROSA

Una vez estudiada la curva umbral debemos ocuparnos de otra no menos interesante: la curva de sensación dolorosa.

Para llevar a cabo nuestro propósito emplearemos el mismo dispositivo generador-sistema amplificador.

Dispongamos el generador en cualquier frecuencia (por ejemplo 1000 ciclos) y vayamos aumentando la potencia de salida a partir de la que proporcionaba la intensidad umbral. Sucesivamente iremos observando: *a)* que al principio la sensación se hace más agradable al ser innecesaria la atención requerida para captar la intensidad umbral; *b)* al ir aumentando la potencia y percibir un sonido cada vez más fuerte, la sensación antes agradable se convierte sucesivamente en molestia y fuerte ruido; *c)* finalmente, es tanta la intensidad que llegará al oído que la sensación que produce es dolorosa. Esta es la intensidad correspondiente a la sensación dolorosa para la frecuencia de 1000 ciclos en que trabaja el generador.

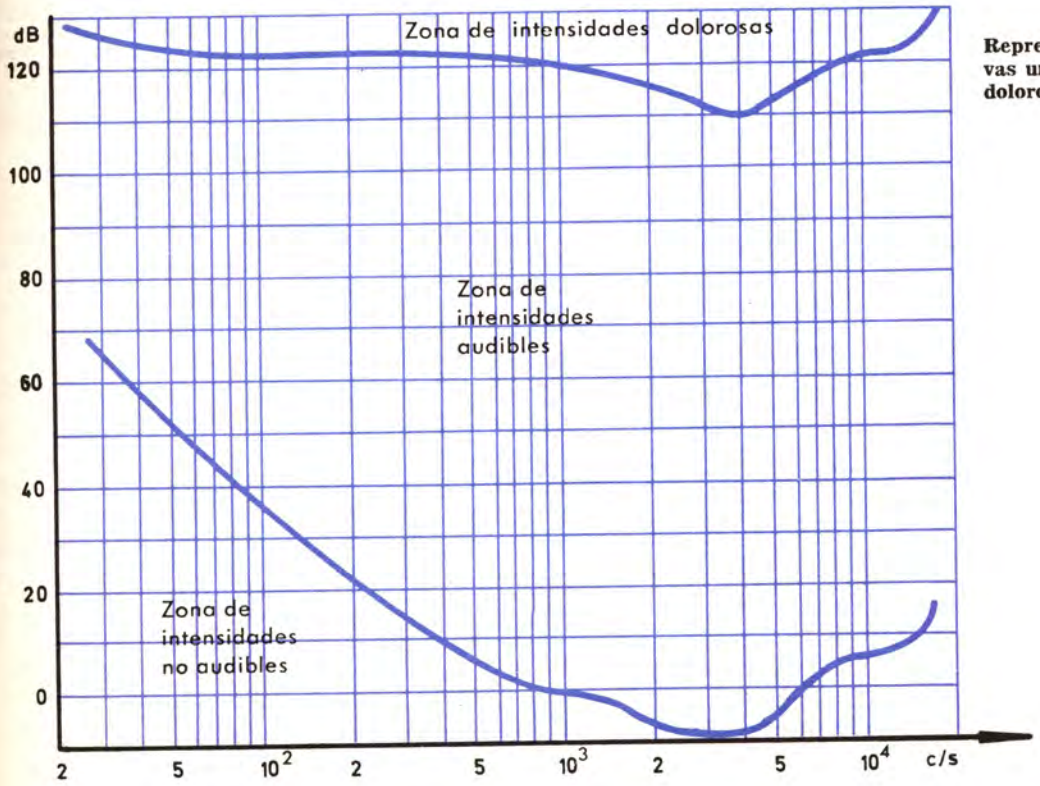
Lo mismo que para la intensidad umbral, es lógico que para la sensación dolorosa exista un valor de la intensidad diferente para cada frecuencia, fácil de obtener por un procedimiento análogo al empleado para hallar la intensidad umbral.

Lógicamente, también la curva de sensación dolorosa puede representarse en un sistema de ejes coordenados. Por razones prácticas interesa tomar la W_0 (intensidad umbral a 1000 ciclos) como valor de referencia para las intensidades.

Para una frecuencia de 1000 ciclos puede observarse que la curva pasa por un punto situado a 120 db, lo cual significa que a esta frecuencia la sensación dolorosa se obtiene con una intensidad $W_m = 120/10 = 12$ belios superior a la W_0; y por consiguiente se verificará que $W_m/W_0 = 10^{12}$, de donde $W_m = 10^{12}\ W_0$; y como $W_0 = 10^{-16}\ W/cm^2$, resulta que $W_m = 10^{12} \times 10^{-16} = 10^{-4}\ W/cm^2$. Es decir, que la intensidad dolorosa correspondiente a 1000 ciclos será $10^{-4}\ W/cm^2$.

Para hallar las intensidades dolorosas para cualquier frecuencia se operará exactamente igual que si se tratase de las intensidades umbrales.

Hemos obtenido dos curvas límites: la umbral y la de intensidad dolorosa. La umbral limita las intensidades audibles de aquellas que no lo son. El oído sólo es sensible a intensidades situadas por encima de esta curva y permanece sordo a



Representación de las curvas umbral y de sensación dolorosa.

las que están situadas bajo ella. En cambio, la curva de sensación dolorosa limita las intensidades audibles de aquellas que por su magnitud convierten la sensación audible en un dolor. Es decir: el oído admite intensidades con valores situados por debajo de esta curva; sobre ella la impresión en el aparato auditivo es tan grande que la sensación generada, además de auditiva, es dolorosa.

EL OÍDO PUEDE PERCIBIR INTENSIDADES QUE, PARA CADA FRECUENCIA, TENGAN VALORES COMPRENDIDOS ENTRE LAS CURVAS UMBRAL Y LA DE SENSACIÓN DOLOROSA.

CURVAS ISOFONICAS

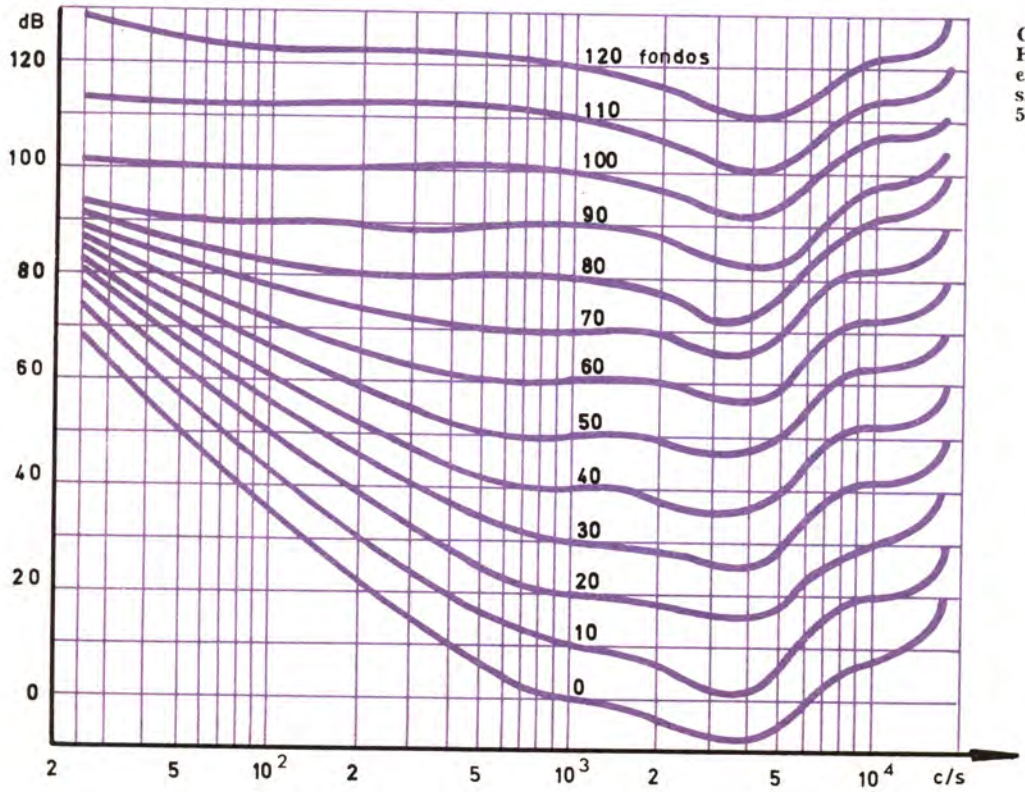
En el mismo gráfico en que hemos trazado la curva umbral y de sensación dolorosa puede verse otras curvas situadas en el espacio de las intensidades audibles. Estas curvas son las llamadas ISOFÓNICAS; representan la intensidad que para cada frecuencia produce la misma sensación.

Si tomamos, por ejemplo, la curva 20 observamos que a 1000 ciclos pasa precisamente por un punto al que corresponde una intensidad que difiere de la umbral en 20 decibelios, que por tanto provoca una sensación 2 en la escala que habíamos ubicado. En cambio, para 60 ciclos la curva 20 pasa por un punto al que corresponden 60 db, lo que significa que para producir la misma sensación que a 1000 ciclos provoca una intensidad superior a la umbral en 20 db, a 60 ciclos debe ser sesenta db superior a la W_0.

¿Por qué se llaman isofónicas estas curvas? Porque pasan por puntos a los que corresponden el mismo número de FONIOS. La pregunta surge: ¿qué es el fonio? ES LA UNIDAD QUE SE EMPLEA PARA MEDIR LAS SONORIDADES, o sea, las sensaciones que produce la intensidad.

Hemos dicho antes que estas sensaciones podían medirse por belios y decibelios; pero en realidad empleamos estas unidades para medir intensidades y potencias y utilizamos del fonio para medir las sonoridades.

La razón de esta diferenciación es que, como podemos observar en las curvas isofónicas, el aumento de una intensidad en cierto número de db, respecto a la umbral, da el aumento de la sensación que produce esta variación de la intensidad a una determinada frecuencia, pero no



Curvas isofónicas. Según H. Fletcher y W. Munson en el J. Acoust. Soc. Amer. s. 82, 1933. 5.82, 1933.

indica qué ocurriría si este mismo cambio de intensidad tuviera lugar a otra frecuencia cualquiera.

Entonces la solución es emplear el decibelio para medir las relaciones de intensidad y el fonio para medir las sonoridades.

Como a 1000 ciclos los valores en fonios coinciden con los valores en db, a esta frecuencia las medidas en ambas unidades son numéricamente iguales, pero no así para otra frecuencia cualquiera; entonces los valores son diferentes.

Por ejemplo: a 70 ciclos la curva isofónica 10, o sea la correspondiente a un aumento de la sensación de 10 fonios respecto a la umbral, pasa por el valor 50 db de las intensidades; y la curva isofónica 70, para la misma frecuencia, pasa por el valor 80 db de la intensidad. Por tanto, si a una frecuencia de 70 ciclos pasamos de la audición de una sonoridad de 10 fonios a otra de 60 fonios, pero en cambio sólo hemos necesitado aumentar la intensidad en 30 db. Para las dos mismas curvas isofónicas a 400 c/s, el aumento de sonoridad en fonios es naturalmente el mismo, 60 fonios; en cambio, el aumento de intensidad es el correspondiente al paso de 20 db a 70, o sea, 50 db.

Con esto podemos darnos cuenta de la diferencia que existe entre el aumento de la intensidad y el aumento de sonoridad, y por tanto de la necesidad de distinguirlos y medirlos con unidades distintas. En la práctica el técnico mide sólo intensidades y por tanto utiliza decibelios.

ALCANCE DINAMICO

Para terminar el estudio de la relación entre intensidad y frecuencia diremos qué es lo que entendemos por ALCANCE DINÁMICO DEL OÍDO.

EL ALCANCE DINÁMICO DE UN SISTEMA ES LA RELACIÓN QUE EXISTE ENTRE LOS NIVELES MÁXIMO Y MÍNIMO DE INTENSIDAD QUE PUEDE REPRODUCIR; O, lo que es lo mismo, la relación entre la intensidad de la señal más fuerte y la más débil que puede proporcionar el sistema.

La señal más fuerte está limitada por la curva de sensación dolorosa, mientras que la más débil lo está por la curva umbral. Puesto que la primera está 120 fonios por encima de la segunda, podemos afirmar que PARA EL OÍDO HUMANO EL ALCANCE DINÁMICO ES DE 120 FONIOS, lo que querrá decir que entre el pasaje más suave que pueda oírse y el más fuerte que soporte el oído existe esa diferencia de sonoridad.

TIMBRE

Hemos dicho que eran tres las cualidades del sonido. Hasta ahora sólo nos hemos ocupado de dos: la intensidad y el tono. Ocupémonos ahora de la tercera: el timbre.

Nadie confunde, por ejemplo, los sonidos correspondientes a un piano y a un acordeón; en un instante podemos distinguirlos, aunque los dos instrumentos emitan con la misma intensidad una nota de igual frecuencia. Hemos aprendido a distinguir sonidos que difieren en intensidad o en frecuencia, pero los dos anteriores, bajo estos dos aspectos, son iguales; en cambio nadie pone en duda su diferencia. ¿En qué difieren estos dos sonidos? Pues son distintos en el contenido de armónicos que cada uno tiene. En una palabra: tienen distinto timbre.

Entendemos por armónicos de un sonido de una frecuencia determinada (que llamamos fundamental) a las ondas que le acompañan, cuyas frecuencias son múltiplos de la fundamental.

Un sonido desprovisto de armónicos, compuesto sólo por la onda fundamental, se llama sonido puro. Desde luego que sonidos puros, ondas desprovistas de armónicos, no existen en el mundo físico, como no sean las que producen los generadores de ondas senoidales. Los sonidos reales siempre llevan cierto contenido de armónicos.

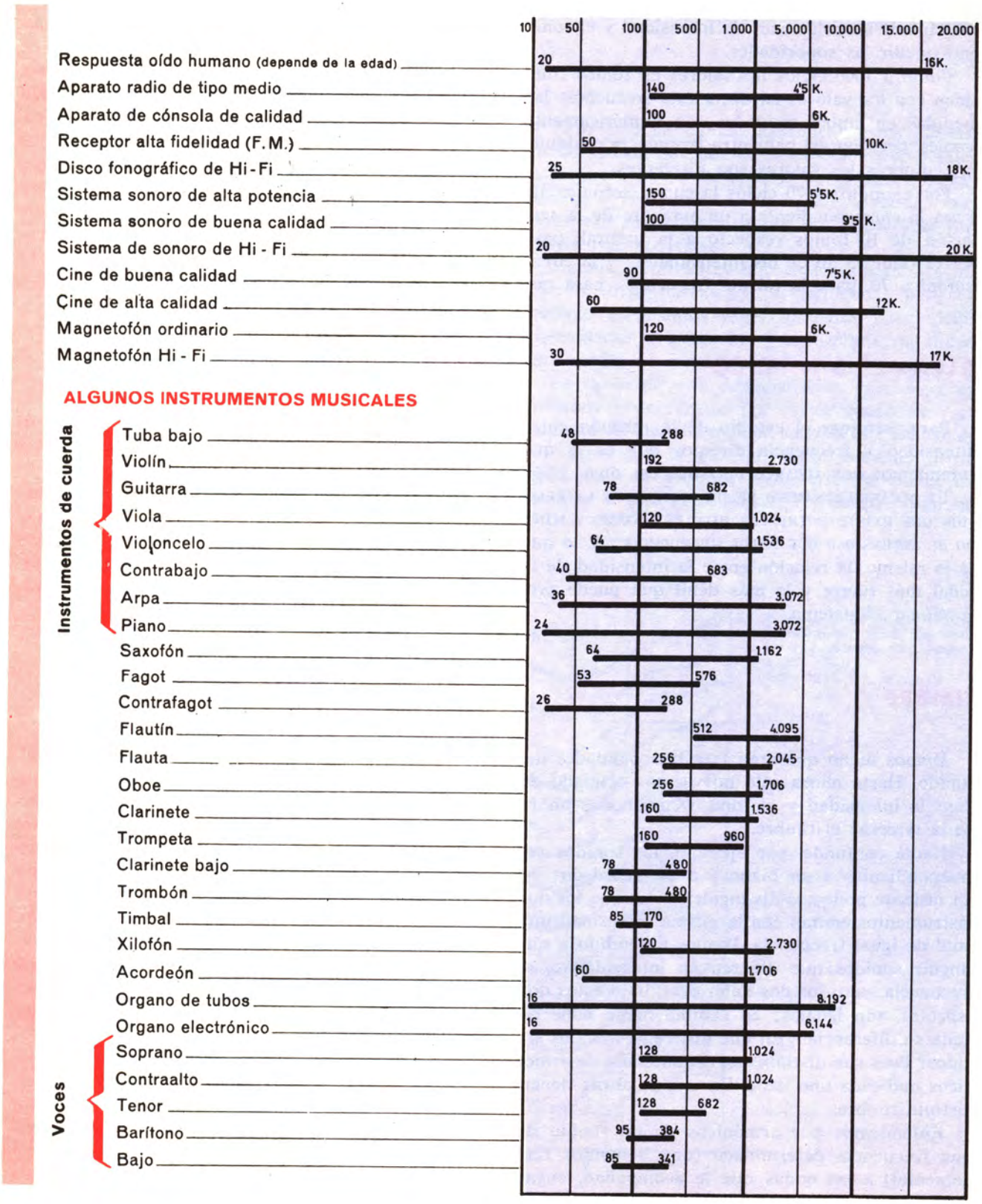
La intensidad de los armónicos es, en general, diferente de la fundamental y para cada uno de ellos tiene un valor determinado. La composición de estos armónicos da al sonido su timbre característico.

Un sonido es rico en armónicos y bien timbrado cuando la onda fundamental está acompañada de armónicos (hasta el sexto o séptimo) en una combinación equilibrada para las intensidades correspondientes a cada uno de ellos.

En cambio, si predominan los armónicos más

altos (por encima del sexto y séptimo) la calidad del sonido es áspera.

Son muy importantes los armónicos en vistas a la distorsión de fase y de frecuencia que pueden tener los equipos de alta fidelidad, cosa que más adelante consideraremos.



REQUISITOS QUE HA DE CUMPLIR UN SISTEMA DE ALTA FIDELIDAD

Una vez estudiado el sonido en sus aspectos físico y fisiológico, es muy fácil deducir cuáles han de ser estos requisitos enunciados.

Si la misión de un sistema de alta fidelidad es reproducir el sonido de forma que se parezca al original tanto como sea posible, este sistema ha de poder proporcionar una reproducción sin variar las cualidades del sonido y debe reunir los requisitos necesarios para reproducir cada uno de éstos.

Para que un sistema de alta fidelidad pueda reproducir un sonido sin variar su intensidad ha de ser capaz de dar al sonido reproducido el mismo alcance dinámico que tenía el original; y puesto que el sonido a reproducir puede ser cualquiera perceptible para el oído, el equipo ha de ser capaz de dar (en la sala donde está instalado) una intensidad limitada en los valores superiores por la intensidad dolorosa y en los inferiores sólo por el nivel de ruido que acompañe la señal que proporcione la fuente. Si el nivel de ruido es bastante elevado, puede ser suficiente para enmascarar los sonidos de poca intensidad y, naturalmente, in+ .ducir una pérdida de fidelidad en el sistema.

Un equipo de alta fidelidad debe reducir al mínimo el ruido y así poder ampliar su alcance dinámico hasta las zonas de pasajes más suaves, en los que las intensidades sonoras son muy débiles.

Con respecto a la intensidad, el requisito que debe cumplir un sistema de alta fidelidad es, en resumen, dar al sonido el mismo alcance que tenía el original. Esa cualidad se satisface con una potencia de salida adecuada para el amplificador.

Como el tono y el timbre son cualidades relacionadas con la frecuencia, las consideraremos emparejadas al estudiar los requisitos que debe tener un equipo para mantenerlas en el sonido reproducido.

Un sistema de alta fidelidad debe tener una banda pasante que abarque toda la gama audible, comprendida entre 20 y los 20.000 ciclos; pues siendo éstos los límites de frecuencia que puede percibir el oído, el equipo ha de estar en disposición de reproducirlos fielmente en su totalidad.

Además de tener una amplia banda pasante, ha de cumplir un requisito respecto a las frecuencias que comprende esta banda. Este requisito es el de que ha de amplificarlas en el mismo grado. La ganancia del amplificador ha de ser la misma para todas ellas, lo que se expresa diciendo que la respuesta ha de ser lineal o plana para toda la banda. De no cumplirse esta condición aparecía un tipo de distorsión llamado distorsión de frecuencia, de la que nos ocuparemos más adelante.

Por cuidado que sea el diseño de un amplificador siempre se produce un cambio de fase entre la señal de entrada y la de salida; el valor de este defase es diferente para cada frecuencia. Dentro de lo posible es muy importante reducir este defase en las frecuencias correspondientes a toda la banda pasante, ya que su presencia acarrea la llamada distorsión de fase. Al estudiar este tipo de distorsión daremos cuenta de cómo influye la característica de fase del amplificador en la conservación de las cualidades del sonido original.

De lo anterior podemos deducir que para que un equipo pueda reproducir un sonido sin mutilar ninguna de sus cualidades debe reunir los siguientes requisitos:

1. Alcance dinámico suficiente para el sonido que reproduce, lo que equivale a potencia de salida suficiente para reproducir cualquier pasaje por fuerte que sea sin mostrar signos de sobrecarga.
2. Tener un bajo nivel de ruido.
3. Dejar el paso de una banda comprendida entre 20 y 20.000 ciclos. Recuerde que la banda pasante es la gama de frecuencias comprendidas entre la de corte superior y la de corte inferior.
4. Presentar una respuesta lineal para estas frecuencias.
5. Tener escaso defase dentro de esta gama.
6. Que todas las deformaciones que pueda introducir el equipo den una distorsión inferior al 2 por 100.

DISTORSION

Al reproducir un sonido debemos conformarnos con la mejor reproducción en alta fidelidad que nos brinde la técnica.

Existe siempre diferencia entre el sonido reproducido y el original. Expresado de otra manera diremos que se ha producido una distorsión. O sea que lo que hacemos con el concepto de distorsión de un sistema es medir la diferencia en-

tre el sonido original y el que resulta al reproducirlo con dicho sistema.

Si lo que se aplica a la entrada del sistema es un sonido puro (representable por una onda senoidal), a la salida se obtiene una onda como la indicada en la figura, por ejemplo, que ya no es una senoide pura, sino la suma de la onda senoidal fundamental introducida en la entrada con varios armónicos.

El contenido en armónicos de la onda de salida es, en este caso, la causa de la distorsión, puesto que es la única diferencia existente con la onda de entrada. La medida de este contenido dará la distorsión introducida por el sistema reproductor.

La distorsión puede ser introducida en el sistema por varias razones y el sistema puede manifestarla de diferentes maneras sobre la onda, cada una de las cuales recibe un nombre específico. Estudiaremos cada uno de los tipos de distorsión, indicando el motivo por que aparece deducido de las características generales del sistema.

Citemos los tipos de distorsión:

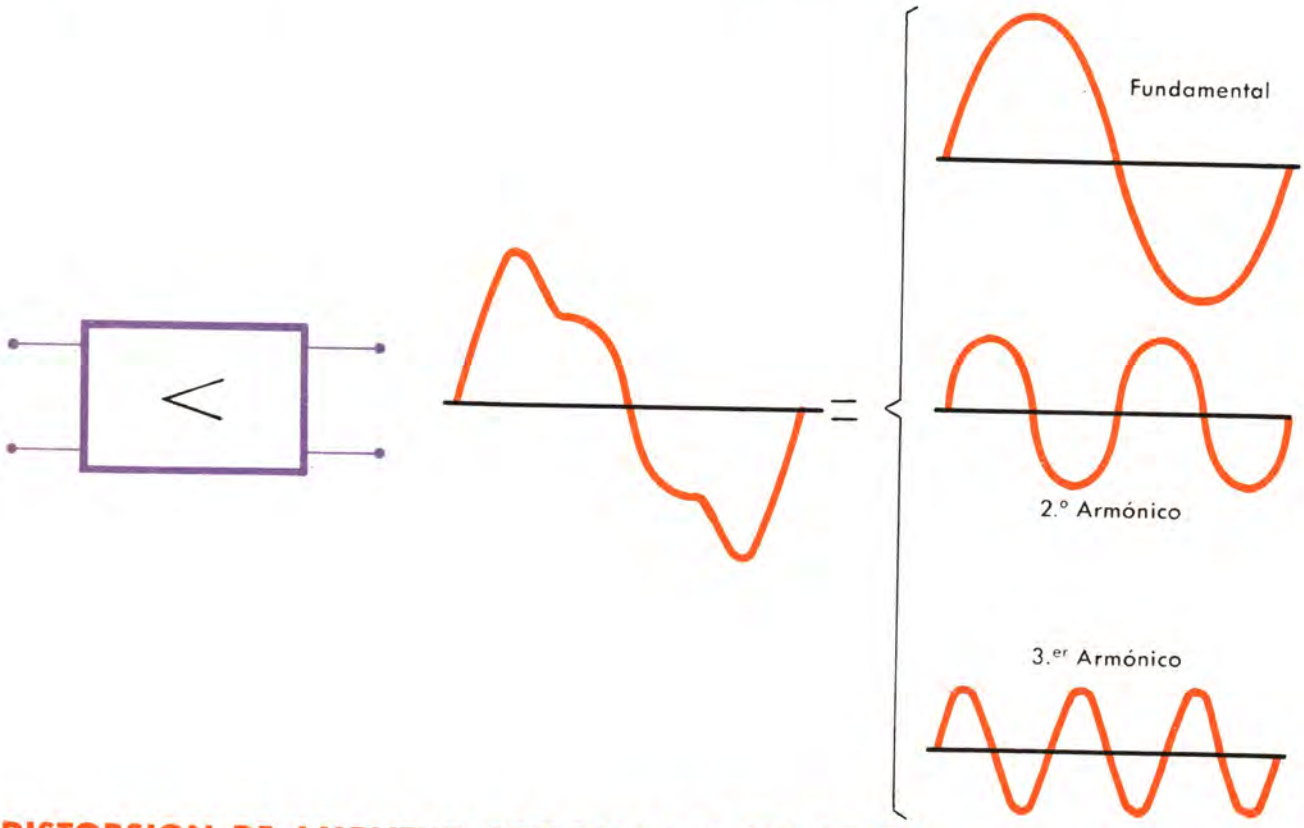
a) Distorsión de amplitud, armónica o no lineal.

b) Distorsión de frecuencia.

c) Distorsión de fase.

d) Distorsión de intermodulación.

e) Distorsión de transitorios.



DISTORSION DE AMPLITUD ARMONICA O NO LINEAL

Este tipo de distorsión se debe a la falta de linealidad del sistema.

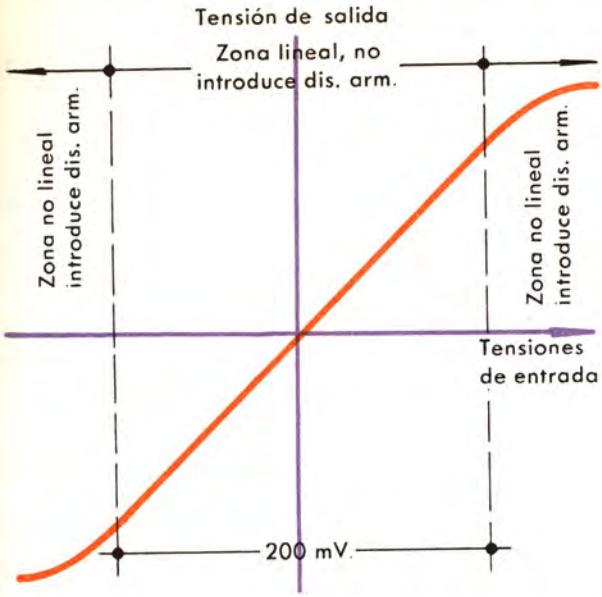
Supongamos un amplificador del que se nos dice que la ganancia es A y que el valor máximo aceptado para la señal a la entrada es de 200 mV.

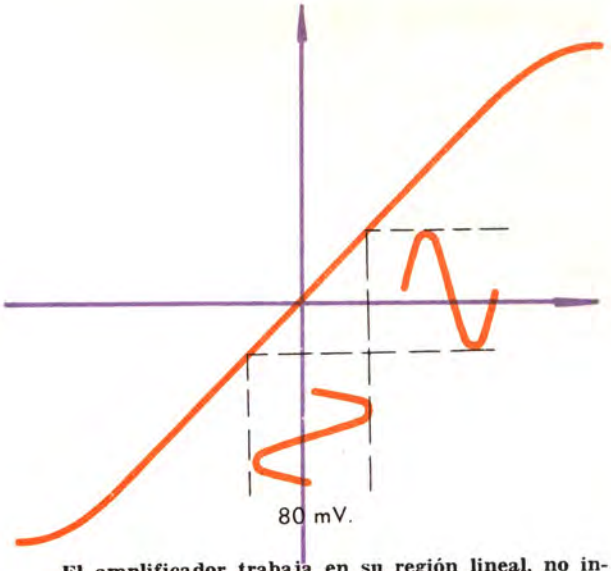
Esto significa que para cualquier señal a la entrada (E_e) se obtiene una señal a la salida E_s; $E_s/E_e = A$. Si E_e es mayor que el valor máximo aceptado a la entrada, el amplificador se satura y la señal de salida no guarda la relación anterior con la señal de entrada.

Lo que ocurre en el amplificador puede verse en la figura, donde representamos la onda de salida para una tensión senoidal a la entrada de valor máximo 100 mV.

La onda de salida ya no es senoidal, y en consecuencia el sistema ha introducido distorsión.

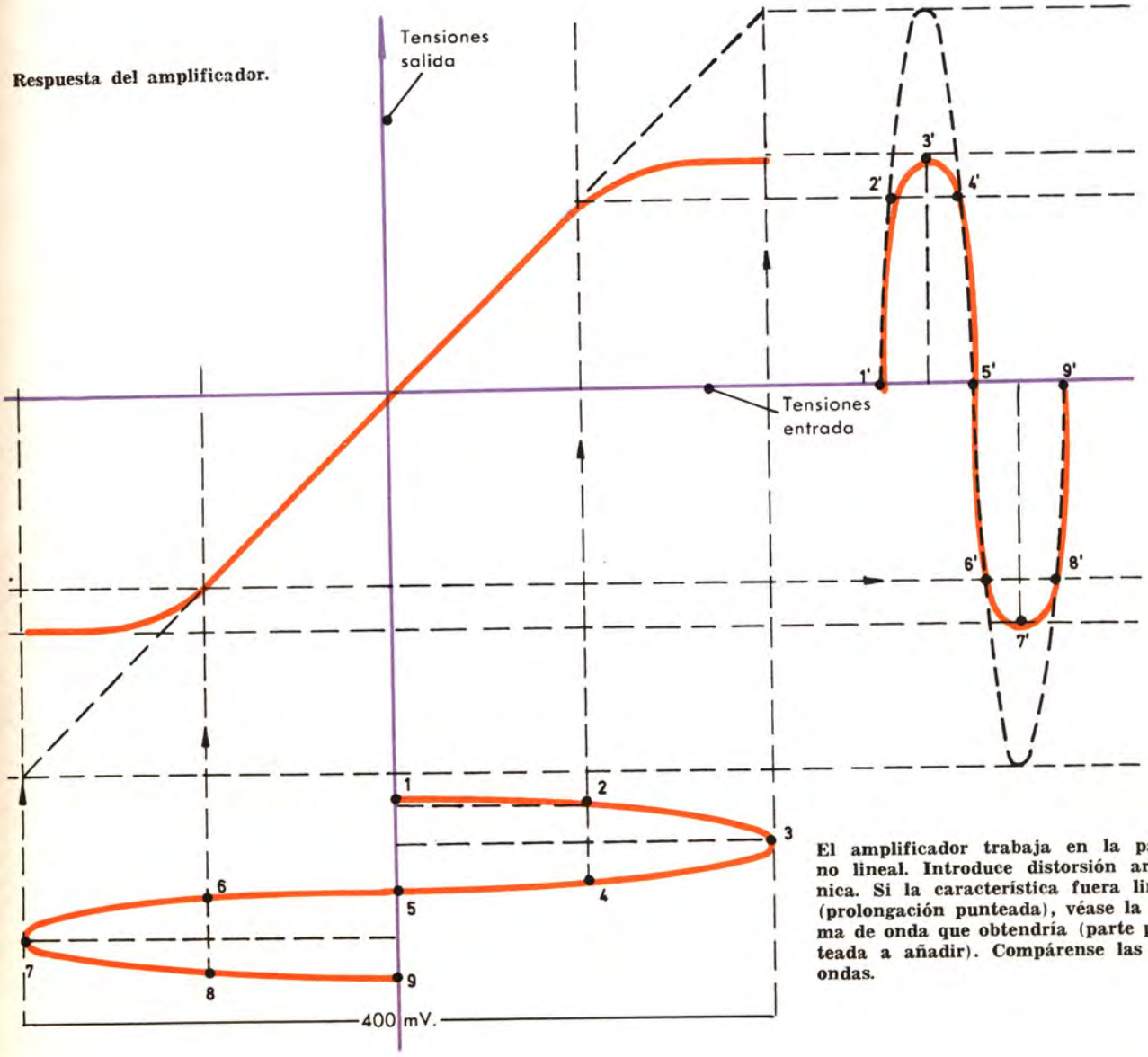
La distorsión aparecida cuando se hace trabajar el sistema en un punto no lineal de su característica es la denominada de amplitud armónica o no lineal. Este tipo de distorsión es debido a que la ganancia varía con la amplitud de E_e.





El amplificador trabaja en su región lineal, no introduce distorsión armónica.

Respuesta del amplificador.



El amplificador trabaja en la parte no lineal. Introduce distorsión armónica. Si la característica fuera lineal (prolongación punteada), véase la forma de onda que obtendría (parte punteada a añadir). Compárense las dos ondas.

DISTORSION DE FRECUENCIA

Si disponemos de un amplificador de una respuesta de frecuencia como la indicada en la figura y deseamos amplificar con él notas correspondientes a toda la gama de audio, encontraremos con que una frecuencia de 5000 ciclos, por ejemplo, sufre una amplificación de 30 db, mientras que si se aplica a la entrada tensiones de frecuencia triple la amplificación será tan sólo de 10 db.

Con estas premisas, suponga que deseamos amplificar una señal compuesta, constituida por una onda fundamental y por su tercer armónico, de frecuencias de 5 a 15.000 ciclos respectivamente, y con tensiones de 20 mV para la fundamental y de 10 mV para el tercer armónico.

A la salida del amplificador, la tensión de la fundamental es $E_s = 20$ V, puesto que:

$$E_s/20 \text{ mV} = 30 \text{ db} = 10^3$$

Luego:

$$E_s = 20 \text{ mV} \times 10^3 = 20 \text{ V}$$

Para el tercer armónico será:

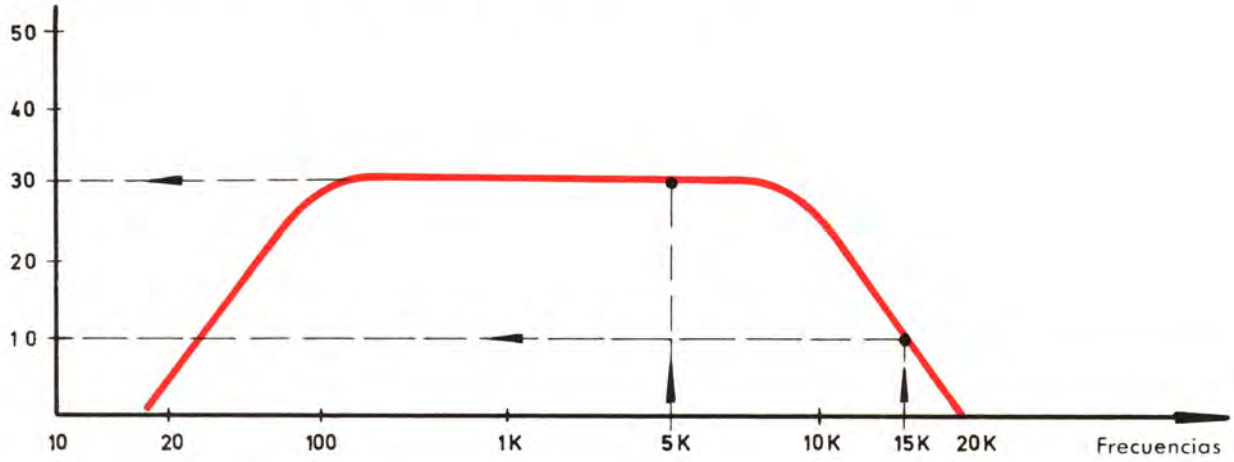
$$E_s/10 \text{ mV} = 10 \text{ db} = 10^1$$

De donde:

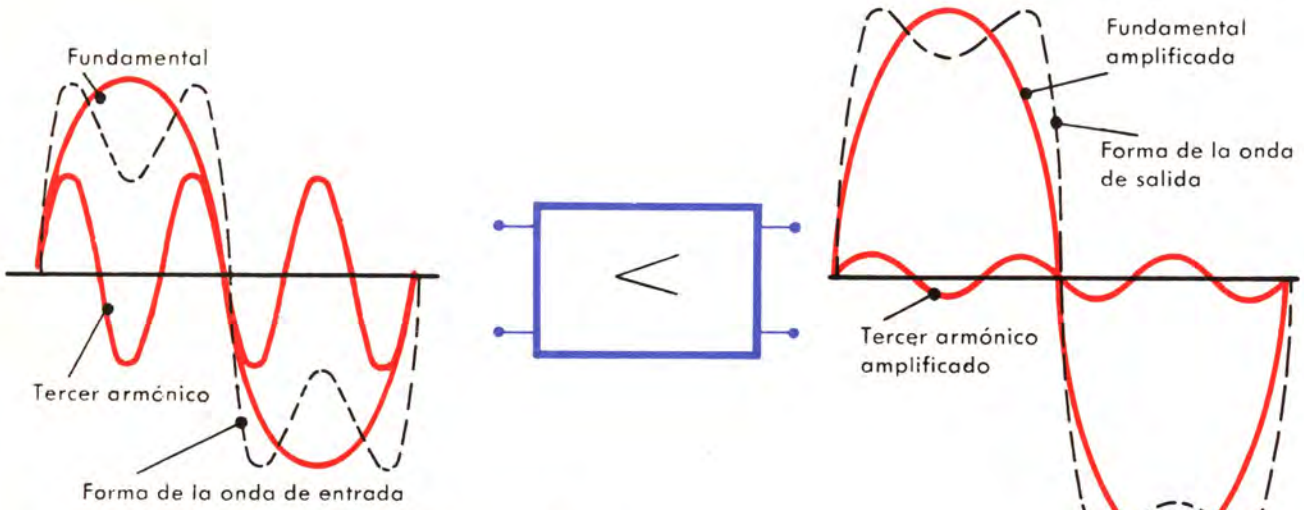
$$E_s = 10 \text{ mV} \times 10 = 0'1$$

Dibujando a escala las formas de onda a la entrada y la salida del amplificador vemos que existe una notable diferencia entre ellas y en consecuencia una distorsión.

Esta distorsión provocada por la distinta amplificación de las tensiones según sea su frecuencia es la llamada distorsión de frecuencia.



Respuesta de frecuencia del amplificador.



Amplificación de una onda con distorsión de frecuencia.

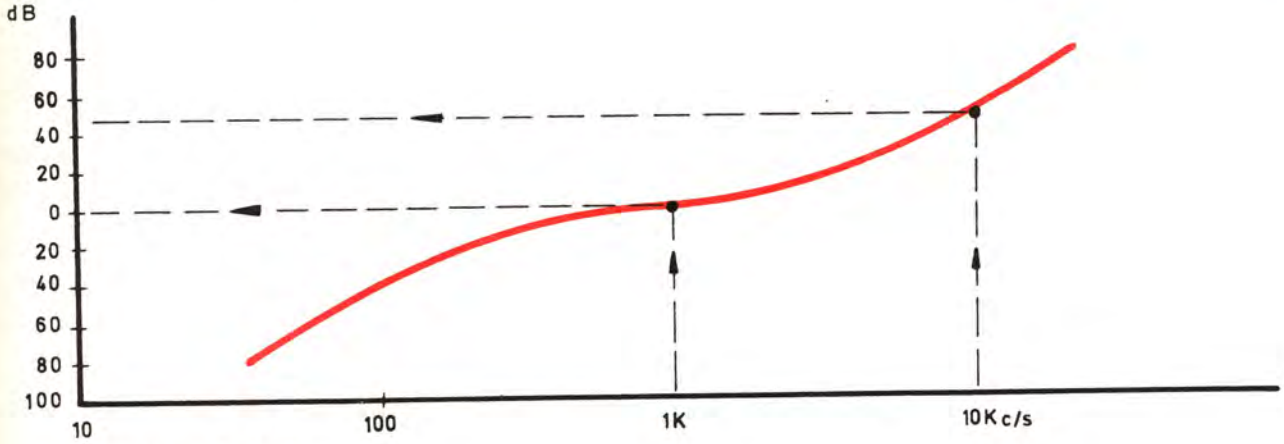
DISTORSION DE FASE

Siguiendo con nuestro amplificador, atribuyámosle ahora la curva de fase de la figura y apliquémosle, como antes, una señal compuesta, constituida por una onda fundamental de 100 ciclos y su tercer armónico.

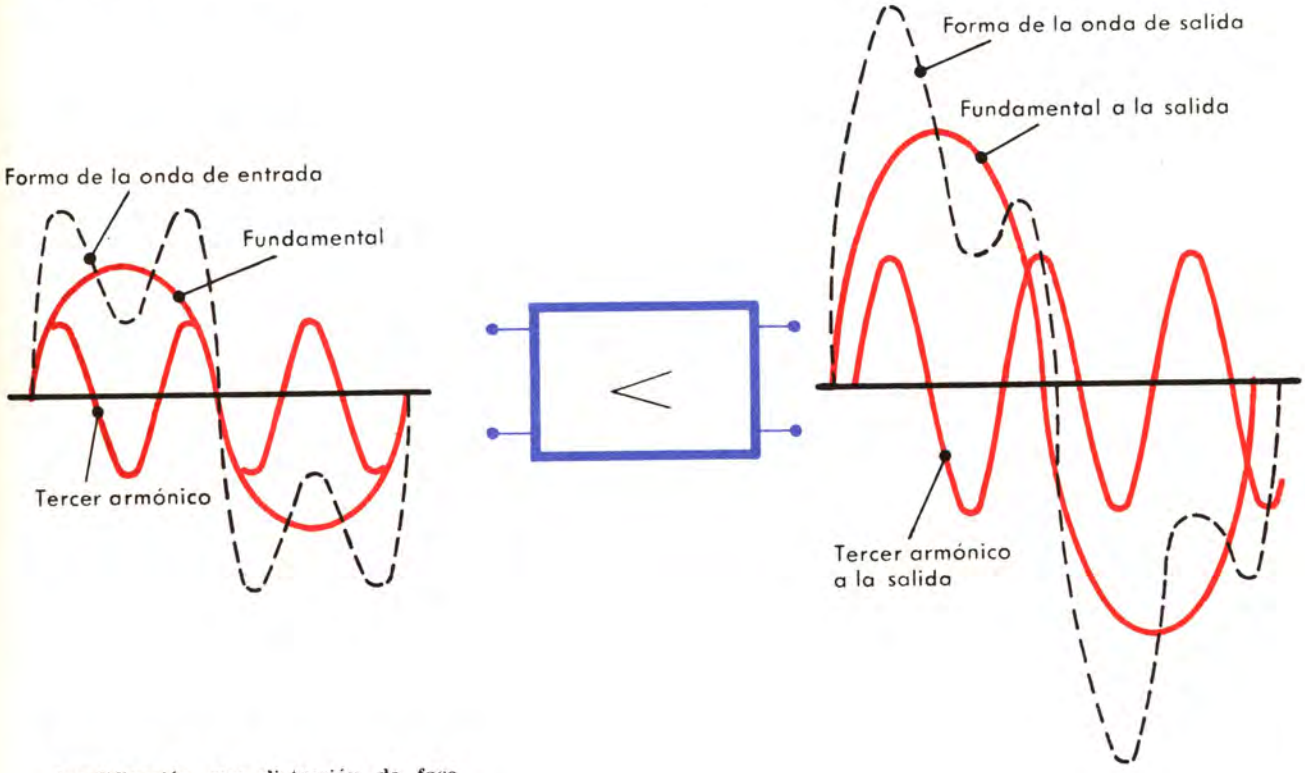
En las características de fase puede obtenerse el ángulo correspondiente a cada una de estas frecuencias: 0 grados para 1000 ciclos y 45 para su tercer armónico; o sea que una tensión al atravesar el amplificador de 3000 ciclos adelanta respecto a su eje de tiempos el correspondiente a un ángulo de fase de 45 grados, equivalente a un octavo de período.

Representemos como antes la onda a la entrada y la salida del amplificador. Ahora las magnitudes relativas de las dos ondas permanecen constantes a la entrada y a la salida, puesto que las ganancias para ambas frecuencias son de 30 db. No hay, pues, distorsión de frecuencia.

Pero al sumar a la salida la onda fundamental con su tercer armónico desplazado un octavo de período en adelanto, la forma de la onda re-



Curva de respuesta de fase.



Amplificación con distorsión de fase.

sultante es diferente de la entrada. Existe distorsión.

Esta distorsión debida al diferente defase de las distintas frecuencias se denomina distorsión de fase.

La verdad es que, a pesar de que la distorsión de fase cambia el perfil de la onda, el oído no percibe prácticamente ninguna diferencia, debido a que sólo es sensible al contenido de armónicos y no a su fase relativa. La distorsión de fase, sin embargo, es importante en los amplificadores de sonido por la inestabilidad de funcionamiento que puede originarse cuando se les aplica realimentación negativa.

DISTORSION DE INTERMODULACION

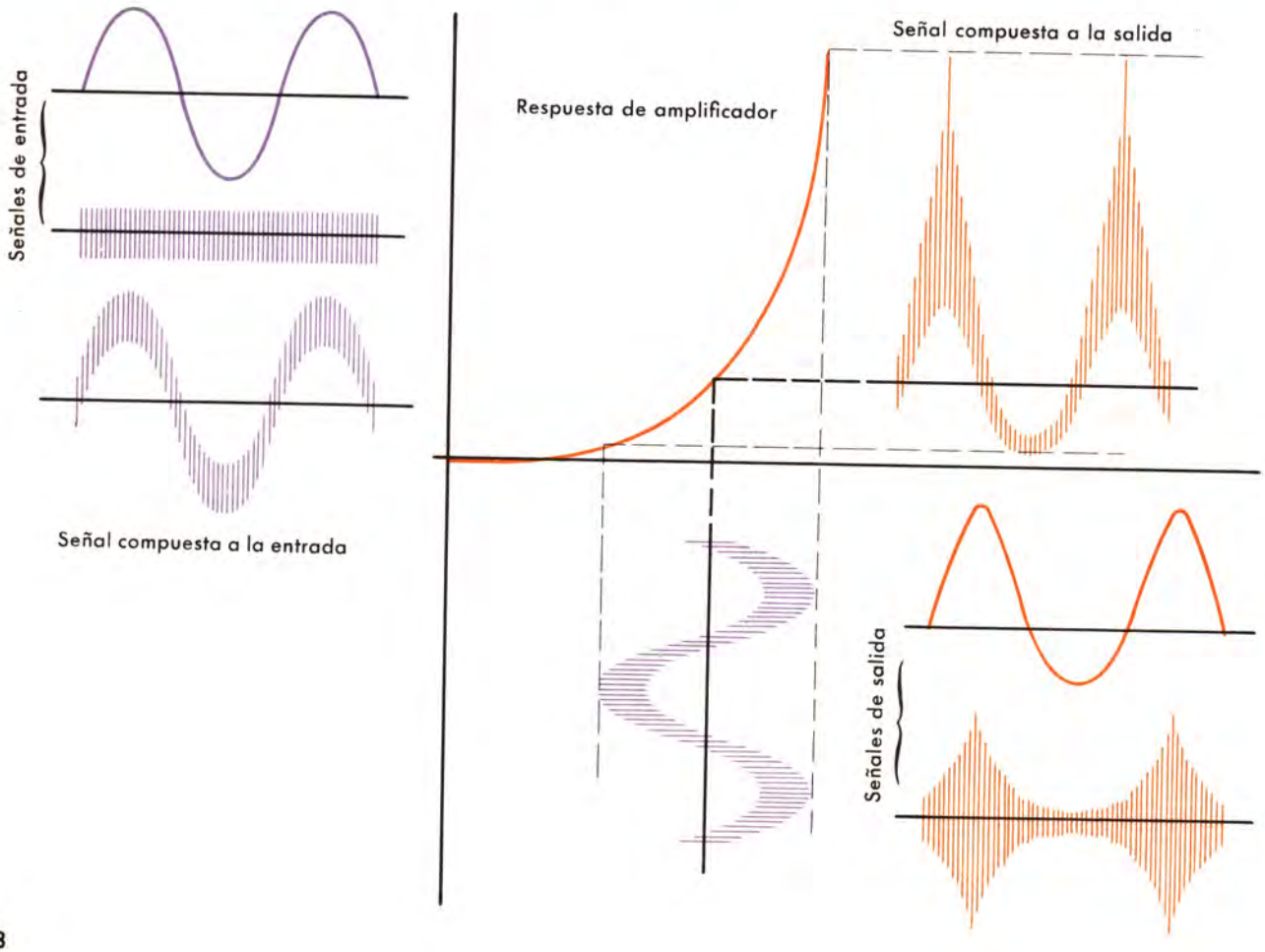
Sabemos que cuando en un sistema no lineal se mezclan tensiones de dos frecuencias tiene lugar el fenómeno que conocemos con el nombre de heterodinaje, consistente en la aparición de ondas de frecuencias que son la suma y diferencia de las dos ondas concurrentes.

Tomemos de nuevo un amplificador, al que esta vez asignaremos desde un principio una ganancia no lineal.

Supongamos que la relación entre la tensión de entrada y de salida para las frecuencias con que trabajamos es la indicada en la figura. Apliquemos a la entrada dos señales de diferente frecuencia y veamos qué es lo que se obtiene a la salida trabajando sobre la misma curva indicada.

En la onda de salida se hallan las frecuencias suma y diferencia de las dos ondas entrantes; y además, por la falta de linealidad, hay una distorsión de amplitud. Por tanto aparecen armónicos de las dos ondas y se produce heterodinajes entre las ondas fundamentales y estos armónicos. La consecuencia lógica de este círculo de circunstancias es que la señal de salida no tiene ni punto de comparación con la señal de entrada.

La falta de linealidad en las características produce distorsión de amplitud y de intermodulación. Observe en el gráfico que la señal de frecuencia alta ha quedado modulada.



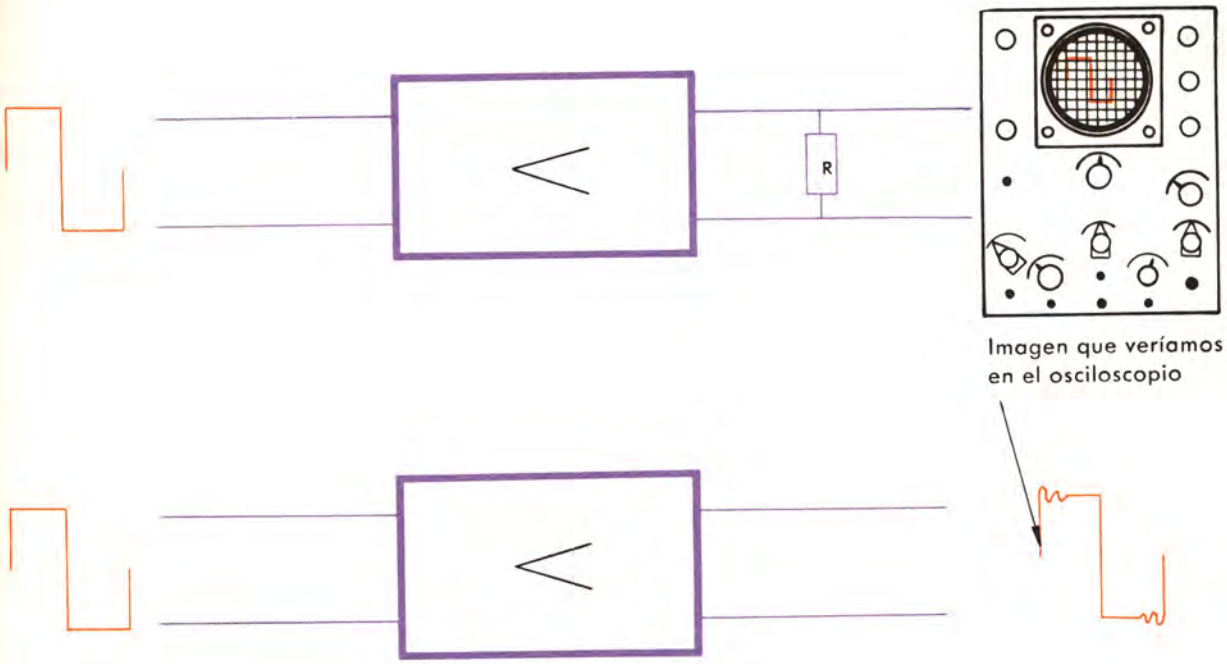
DISTORSION DE TRANSITORIOS

Un fenómeno transitorio es el que tiene lugar cuando se produce en la tensión de entrada una variación brusca que el altavoz es incapaz de seguir.

Este defecto puede hacerse visible con el osciloscopio aplicando a la entrada del amplificador una onda rectangular y viendo cuál es la forma de la onda de salida.

Según la forma de esta onda sabremos cuál es la respuesta del amplificador a los transitorios (variaciones bruscas de la tensión de entrada), ya que en la onda rectangular disponemos de estos rápidos cambios de la tensión entre dos valores fijos situados en el máximo y el mínimo de la mencionada onda.

Los armónicos introducidos en la onda de salida respecto a la onda rectangular de entrada permiten obtener la distorsión de transitorios.



Amplificación con distorsión de transitorios manifestada por los osciladores de la salida cada vez que hay un salto brusco en la tensión de entrada.

RUIDO

Entendemos por ruidos las señales indeseables que se generan en los componentes activos y pasivos del circuito eléctrico y que son de naturaleza aleatoria.

Aclaremos esta definición. Si disponemos de una resistencia de valor determinado sometida a una diferencia de potencial, sabemos, por la ley de Ohm, la corriente que la atravesará. Pero esta corriente no es rigurosamente constante, sino que fluctúa alrededor de su valor medio, única magnitud que realmente permanece constante. El motivo de esta falta de constancia es que el número de electrones que puede atravesar la resistencia no es el mismo en todos los instantes, sino que varía entre ciertos límites; su valor medio, sin embargo, se mantiene constante en un intervalo de tiempo finito.

Al variar la corriente que atraviesa la resistencia, aunque sea en valores pequeñísimos, varía la diferencia de potencial en sus extremos.

Estas tensiones amplificadas por las distintas etapas del sistema dan como resultado la aparición del ruido en el altavoz.

Igual ocurre en un condensador y, cómo no, en una inductancia. Al variar en ella la corriente que la atraviesa por causas aleatorias en los otros componentes, se inducen tensiones que engendran el ruido.

Se llama aleatorios a todos estos fenómenos en los que una magnitud varía sin seguir leyes y sin poder predecir qué valor medio tomará en un instante determinado.

En los componentes pasivos de los circuitos (resistencias, condensadores e inductancias) se generan tensiones de naturaleza aleatoria que producen el ruido.

No escapan tampoco a este defecto indeseable los componentes activos (válvulas y transistores). Si podemos medir la intensidad de placa de un diodo, veremos que para una tensión de placa constante y una temperatura de cátodo también constante esta intensidad sufre los mismos efectos que la intensidad que atraviesa la resistencia. Sólo se mantiene constante su valor medio, pero los valores instantáneos fluctúan alrededor de este valor.

El motivo es que el número de electrones procedentes del cátodo que puede alcanzar la placa, no es constante por causas de tipo aleatorio imposibles de determinar.

También se presenta el mismo efecto en un triodo, pues con sólo tener en cuenta que las tensiones de rejilla presentan esas variaciones aleatorias podemos prever la variación de la corriente de placa, y por lo tanto de la tensión amplificada.

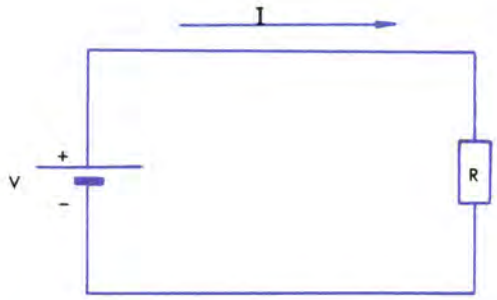
En las válvulas con mayor número de electrodos el fenómeno es más acusado; por cuanto si esta falta de constancia se debe a que el número de electrones que llega a un electrodo no se mantiene fijo, menos aún se mantiene el número de los que llegan al conjunto de los elementos de una válvula de varios electrodos.

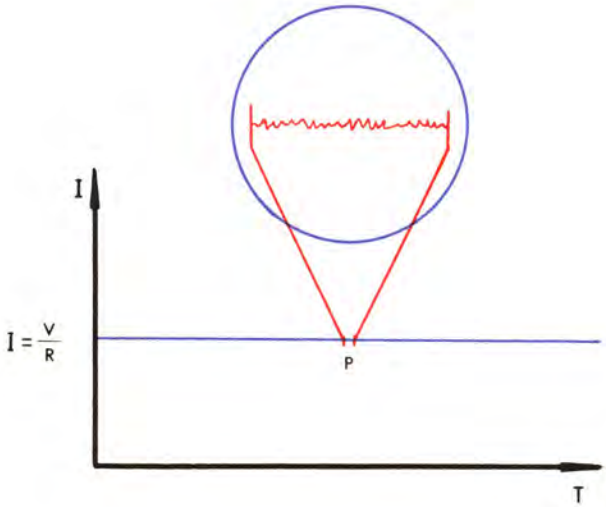
Existen, pues, fenómenos de naturaleza aleatoria que provocan variaciones infinitamente pequeñas en los valores instántaneos de las magnitudes eléctricas de cada uno de los componentes de un circuito, ya sean activos o pasivos, que se traducen en la aparición de unas tensiones muy débiles, pero que una vez amplificadas se perciben por el altavoz y constituyen lo que hemos convenido en llamar ruido.

Este ruido está presente en todas las etapas de un amplificador; pero debe tenerse especial cuidado en atenuarlo al máximo en las primeras etapas, puesto que las señales generadas en ellas son las más amplificadas y las constituyentes casi exclusivas del ruido del amplificador.

Veamos la veracidad de lo dicho en el siguiente ejemplo: tenemos un amplificador constituido por cuatro etapas amplificadoras de tensión con ganancias respectivas de 30, 20, 10 y 5. Si en la primera etapa aparece una tensión de ruido de 10 mV, tendremos a la salida una tensión de ruido E_{sr} de valor $E_{sr} = 10 \times 30 \times 20 \times 10 \times 5 = 300.000$ mV $= 300$ V. Admitamos ahora que en la segunda etapa se genera una tensión de ruido de 100 mV; provocará una tensión de salida $E_{sr} = 100 \times 20 \times 10 \times 5 = 100.000$ mV $= 100$ V.

Por este ejemplo nos damos cuenta de que una tensión de ruido diez veces mayor aparecida en la segunda etapa provoca una salida tres veces menor. Por tanto, a igualdad de magnitudes para las tensiones de ruido en las diferentes etapas, podemos perfectamente despreciar todas frente a la aparecida en la primera.





La I se mantiene constante en su valor medio a través del tiempo, pero si pudiéramos amplificar lo suficiente el gráfico, veriamos el punto P como se indica en el circulo.

RELACION SEÑAL/RUIDO

Este término, empleado con enorme frecuencia en electrónica, tiene un significado que nos interesa mucho conocer.

Para llevar a cabo el fin que nos hemos propuesto, volvamos a nuestro amplificador y coloquemos el potenciómetro correspondiente al volumen en una posición tal que podamos apreciar el ruido en forma sonora por el altavoz.

Con el potenciómetro de volumen en la posición en que se encuentra este amplificador podría dar, para una señal a la entrada, una determinada intensidad sonora en el altavoz. Esta intensidad sonora crecería al aumentar la señal de entrada aun manteniendo fijo el volumen; pero si tanto aumentáramos la señal de entrada, se llegaría a saturar el amplificador.

Una vez conseguida la salida máxima con una señal de entrada que no llegue a saturar el amplificador (manteniendo siempre fijo el volumen), disminuyamos el valor de la tensión de su entrada hasta conseguir una intensidad sonora igual a la que produce el ruido.

Tenemos ahora dos valores de la señal de entrada: uno, el que ha de ser aplicado, daría una intensidad sonora igual a la que produce el ruido; y otro, el de la señal que para esta posición del potenciómetro daría un volumen máximo sin llegar a saturar el amplificador.

Bien, pues: la relación entre estas dos tensiones expresada en db es lo que llamamos *relación señal/ruido.*

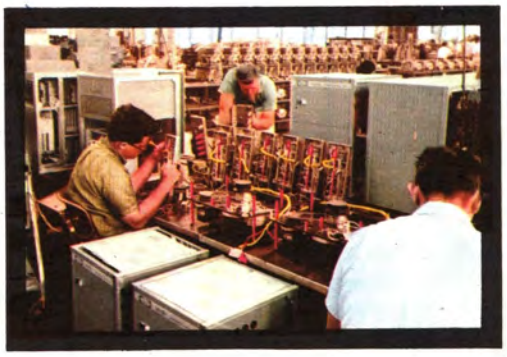
Podríamos generalizar esto para cualquier sistema: la relación señal/ruido es la que existe, para un determinado nivel de salida, entre la tensión que la produce y la tensión equivalente de ruido que tenemos para esta salida.

* * *

LECCION 45

Micrófonos
Curvas de respuesta y diagramas de discrecionalidad
Sistemas de grabación sobre discos
Tocadiscos
El brazo y la cápsula fonocaptora
Error de pista
Empuje lateral
Cambiadiscos automáticos

electronia radio + tv



alta fidelidad 2

LOS ESLABONES DEL EQUIPO

Un sistema de alta fidelidad puede dividirse en cuatro secciones fundamentales:

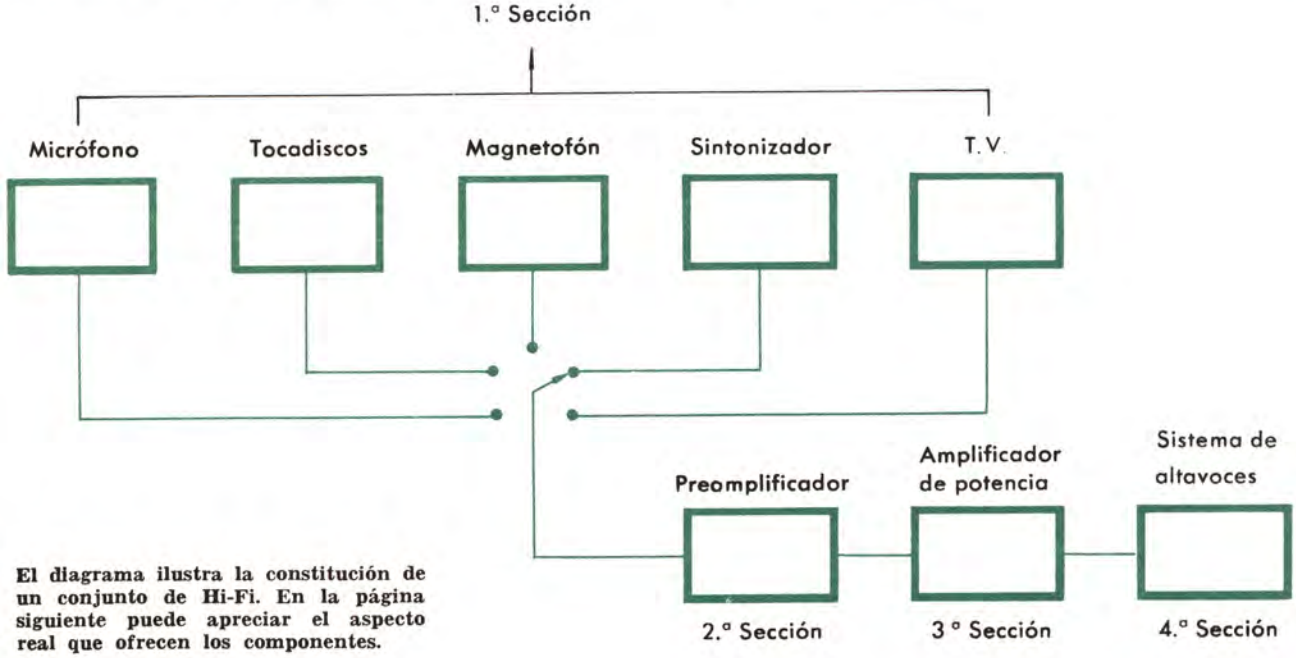
1. ENTRADA. Es la sección encargada de convertir las variaciones de presión de la onda sonora en impulsos eléctricos proporcionales (micrófonos), o bien de obtener estos impulsos de otra fuente que previamente los ha registrado (*pick-ups*, captadores magnéticos, etc.).

2. PREAMPLIFICADOR. Su misión es controlar los impulsos que lleguen de la sección anterior, combinarlos de forma adecuada y proceder a su primera amplificación.

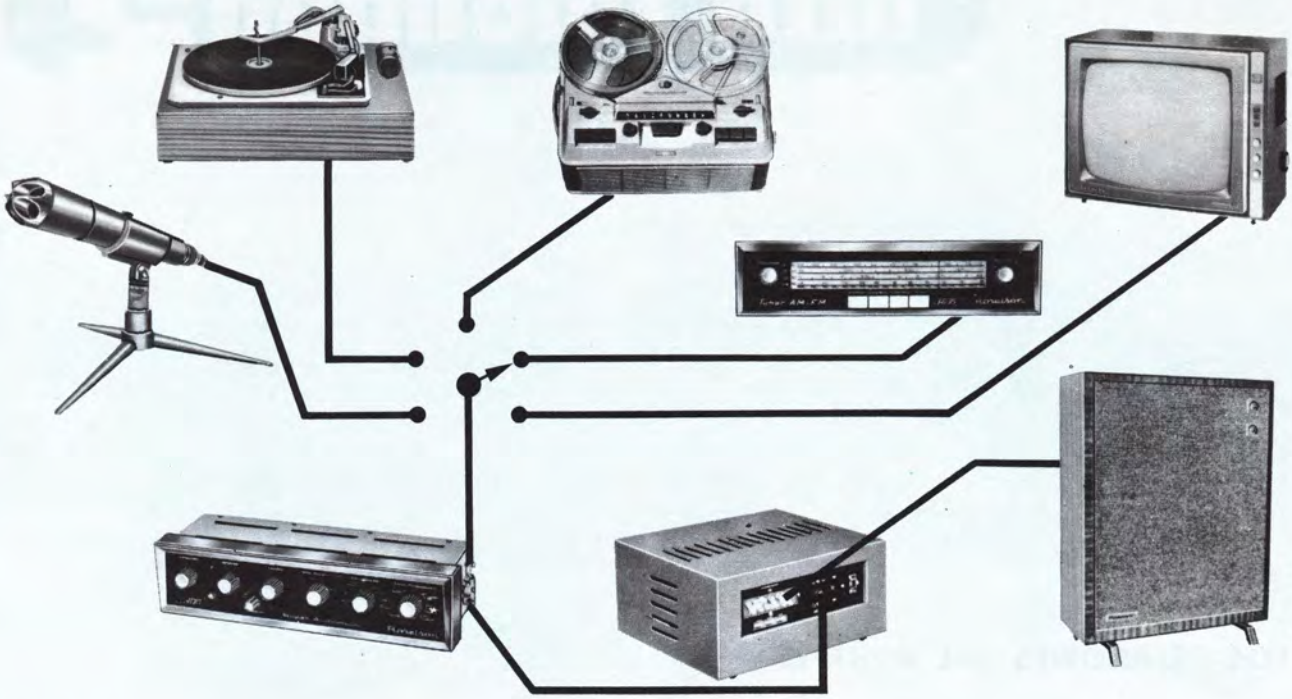
3. AMPLIFICADOR DE POTENCIA. Tiene por objeto la amplificación suficiente de estos impulsos para que puedan accionar el altavoz.

4. SALIDA. Sección constituida por el altavoz o sistema de altavoces encargado de convertir los impulsos en ondas sonoras.

En esta lección nos ocuparemos de la primera sección del equipo.



El diagrama ilustra la constitución de un conjunto de Hi-Fi. En la página siguiente puede apreciar el aspecto real que ofrecen los componentes.



PRIMERA SECCION DEL EQUIPO. ENTRADA

Como hemos dicho, la misión de esta sección es proporcionar los impulsos eléctricos al amplificador.

Elementos que pueden constituir esta sección: micrófono, tocadiscos, cinta magnética, sintonizador FM o TV.

MICROFONOS

Los micrófonos son transductores electromecánicos, o sea aparatos que tienen la propiedad de convertir en eléctrica la energía mecánica, diseñados especialmente para transformar las ondas sonoras en impulsos eléctricos de características análogas.

Propiedades físicas de un micrófono Sensibilidad y nivel de salida

Sabemos que el micrófono convierte las variaciones de presión que provoca una onda sonora en variaciones de tensión proporcionales, y por tanto que a cada valor de la presión corresponde una tensión generada en cada micrófono.

La SENSIBILIDAD de un micrófono es la relación entre la presión de la onda que recibe y la tensión que ésta produce. Se mide en dB, tomando como referencia un micrófono ideal que diera una salida de 1 V cuando la presión fuese de 1 bar, unidad de presión que equivale a una dina/cm².

El NIVEL DE SALIDA es la tensión que genera el micrófono. Otra forma de dar la sensibilidad de un micrófono consiste en referir su potencia de sa-

lida a la de un micrófono ideal que diera 1 mW de salida para una presión de un bar.

El nivel de salida de los micrófonos reales es inferior al de este micrófono ideal supuesto. Por tal razón la sensibilidad de un micrófono se expresa por una cantidad negativa de decibelios.

Respuesta de frecuencia

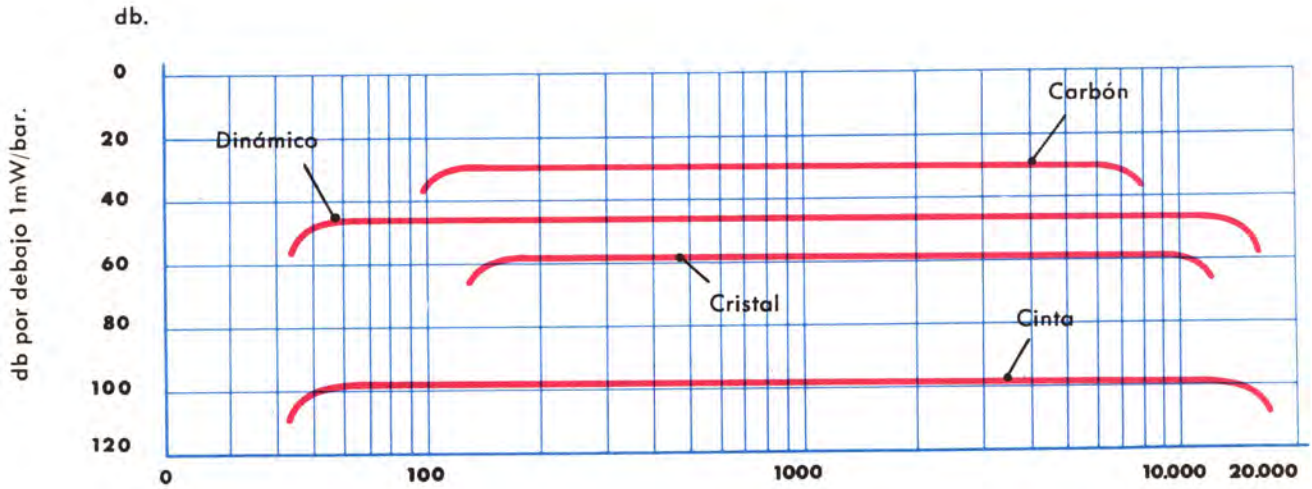
Da una relación entre la presión a la entrada del micrófono y el nivel de salida del mismo cuando la frecuencia varía.

La característica de la respuesta de frecuencia de un micrófono se representa en un sistema de coordenadas cartesianas. En las abscisas se toman las frecuencias en escala logarítmica. En las ordenadas se toma el nivel de salida en dB respecto a 1 mW/bar.

LA RESPUESTA DEBE SER PLANA ENTRE LOS LÍMITES DE FRECUENCIA EN QUE EL MICRÓFONO DEBE SER ÚTIL.

Para un sistema de alta fidelidad ordinario basta una respuesta plana entre 40 c/s y 12 Kc/s. Un micrófono destinado sólo a reproducir palabras proporciona resultados satisfactorios para límites de frecuencia comprendidos entre 75 c/s y 6 Kc/s.

Por último, los que se destinan a reproducir música con la mayor fidelidad requieren una respuesta plana entre 30 c/s y 18 Kc/s.



En este gráfico queda indicada la sensibilidad y respuesta de frecuencia de diversos tipos de micrófonos.

Directividad de un micrófono

En un micrófono, además de la respuesta de frecuencia, debe tenerse en cuenta la direccionalidad.

LA DIRECCIONALIDAD DE UN MICRÓFONO ES UNA CONDICIÓN QUE SE REFIERE A SU DESIGUAL RESPUESTA CUANDO EL SONIDO LLEGA A ÉL DE DIFERENTES DIRECCIONES.

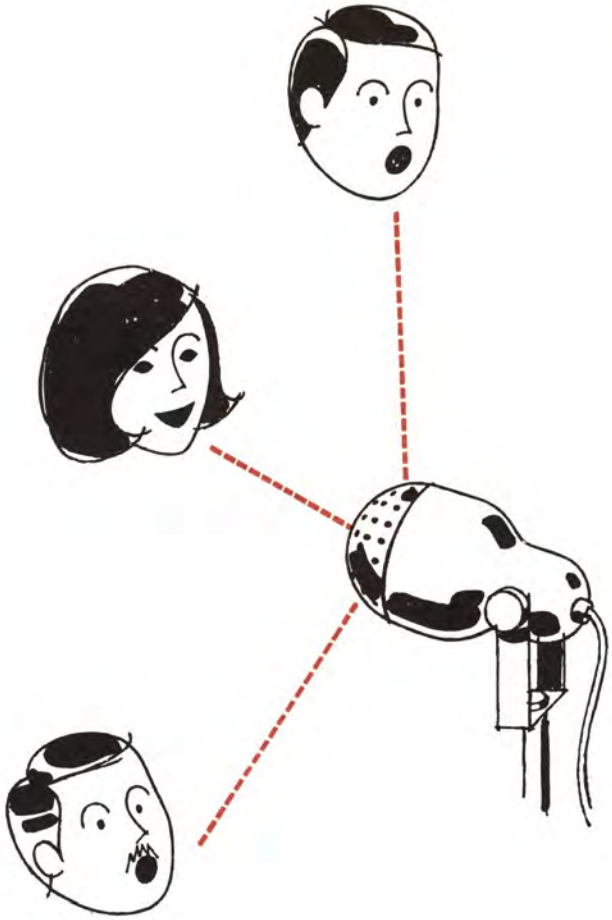
La *direccionalidad* se expresa por medio de un diagrama polar en el que existe una serie de radios según direcciones comprendidas entre 0 y 360°, en el que, tomando como unidad la respuesta de 0° materializada por una determinada longitud del radio en esta dirección, se indican por las longitudes de los radios en cada dirección la relación entre la respuesta máxima a 0° y la respuesta para la misma onda en la dirección correspondiente.

En la serie de diagramas que añadimos puede observar que en la figura 1 tenemos una respuesta no direccional materializada por un círculo, lo que indica que la respuesta es la misma en todas direcciones. Cuando una onda sonora llega al mi-

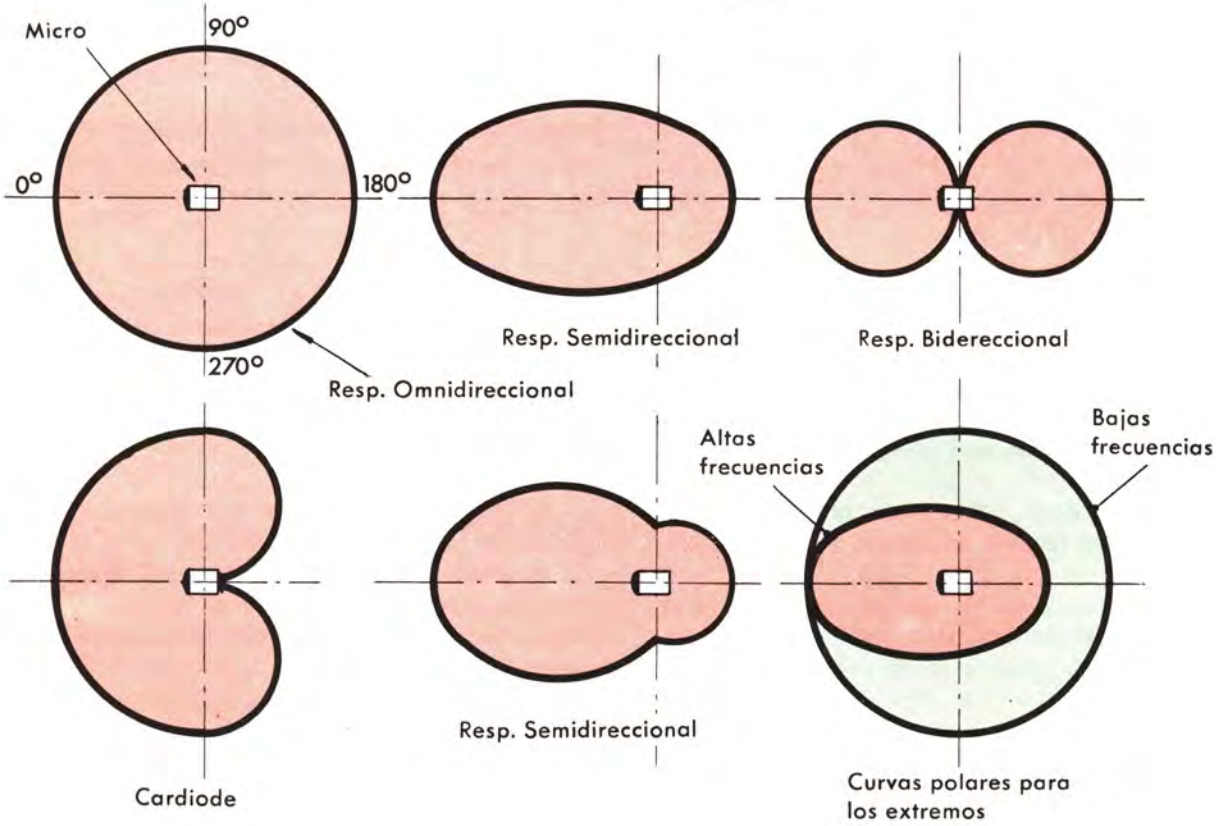
crófono provoca un movimimiento del mecanismo transductor (se genera una tensión) que sólo depende de la intensidad de la onda, independientemente de la dirección en que llegue al micrófono.

En la figura 2 tenemos la respuesta de otro micrófono. Observamos que en la dirección 180° la sensibilidad es 1/4 de la dirección que corresponde a la dirección 0° y que a 90° y 270° es la mitad. En este micrófono la tensión generada depende de la intensidad del sonido y, además, de la dirección en que llegue la onda sonora. En las restantes figuras pueden verse algunas curvas polares típicas.

Existe además otra particularidad respecto a la respuesta direccional: no es la misma para todas las frecuencias, lo cual obliga por lo general a dar dos curvas polares, una para las frecuencias bajas y otra para las altas, como se indica en la figura 6.



El nivel de salida de un micrófono es distinto según sea la dirección de las ondas incidentes. Se dice que los micrófonos son más o menos "direccionales".



TIPOS DE MICROFONOS

Los micrófonos se clasifican según el principio de su funcionamiento.

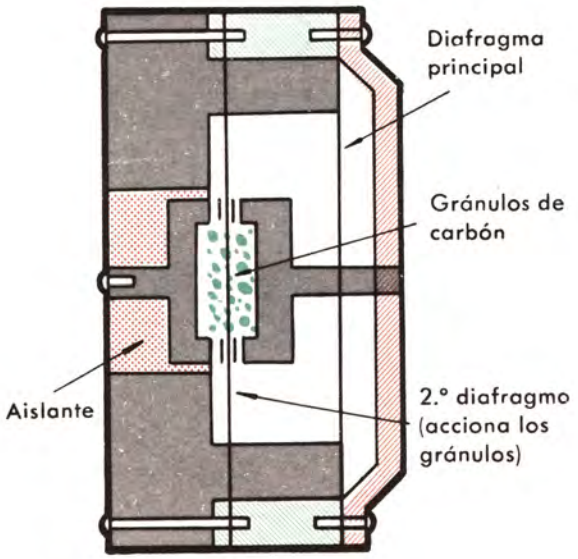
Según cuál sea éste, pueden agruparse en los siguientes tipos básicos:

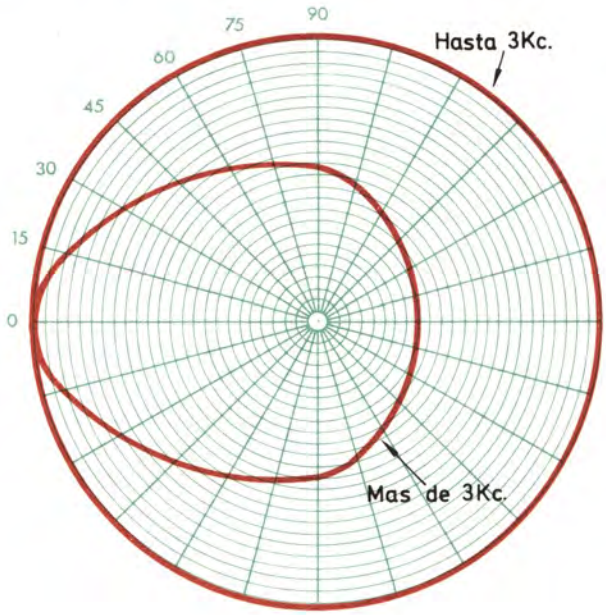
1. De carbón.
2. De cristal.
3. Dinámicos.
4. De cinta.
5. De condensador.

MICROFONOS DE CARBON

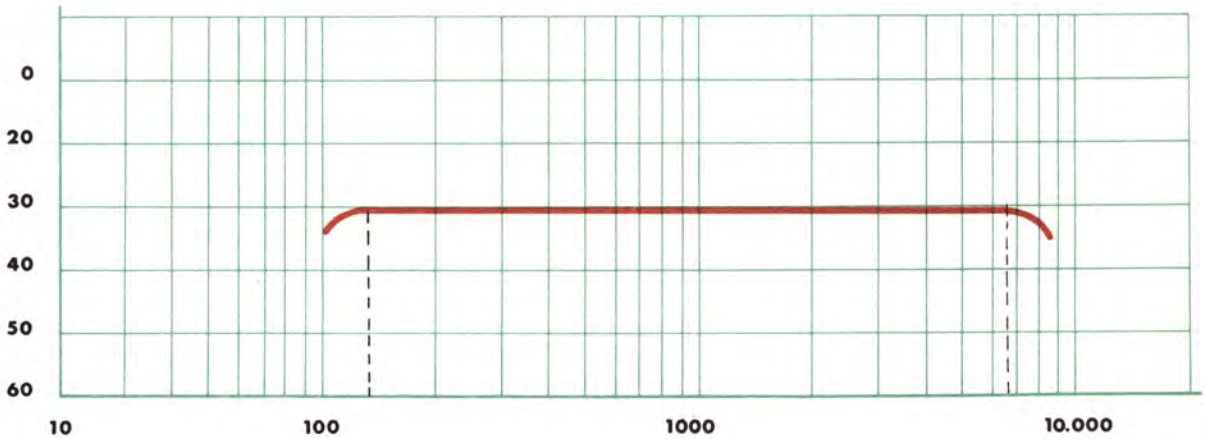
Están formados, básicamente, por una cápsula llena de gránulos de carbón y por un diafragma unido a una de las bases de dicha cápsula. Cuando el diafragma se desplaza longitudinalmente por efecto del aumento de la presión, se mueve solidariamente la base de la cápsula, comprimiendo los gránulos de carbón.

Al comprimir los gránulos varía la resistencia que ofrecen al paso de una corriente continua muy débil, que al atravesar una resistencia da una tensión que varía al unísono con la intensidad, y por consiguiente con la presión, como queríamos conseguir. La figura adjunta ilustra su constitución.





Constitución, curva de respuesta y diagrama de direccionalidad de un micrófono de carbón.



Propiedades

Su nivel de salida es muy elevado (del orden de 30 dB).

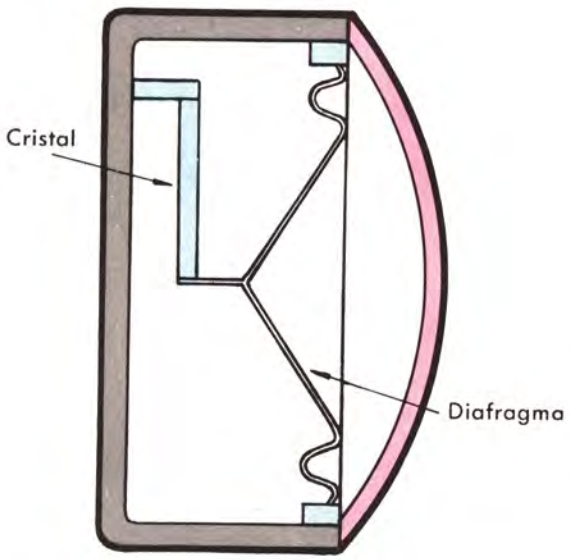
Tiene una respuesta de frecuencia deficiente, que sólo es plana en la banda comprendida entre 60 c/s y 7 Kc/s.

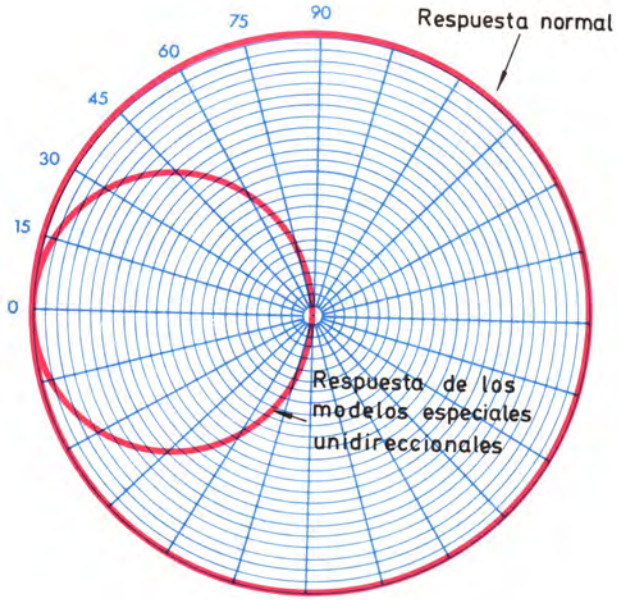
Tiene respuesta omnidireccional hasta los 3000 ciclos; a partir de esta frecuencia presenta propiedades direccionales.

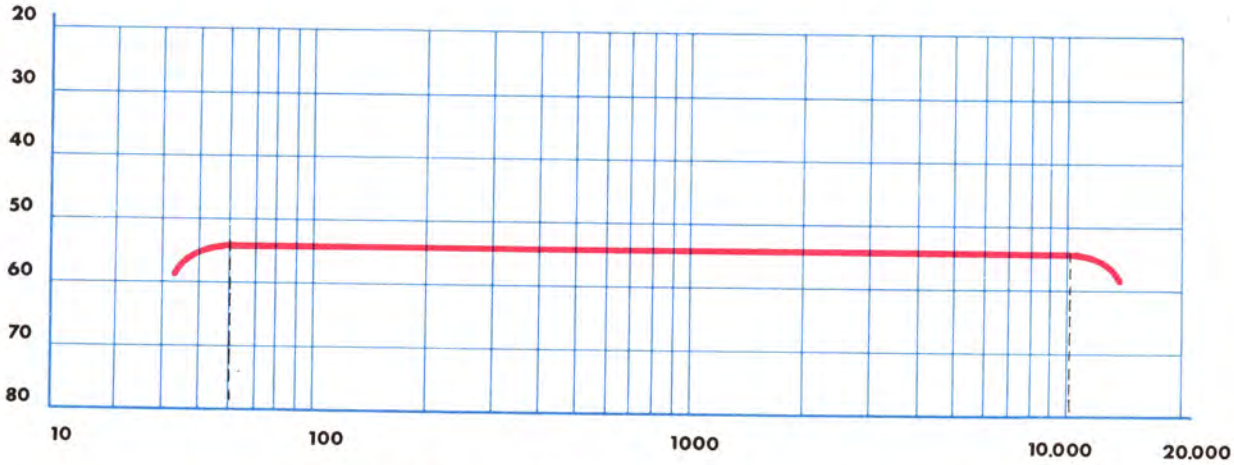
MICROFONOS DE CRISTAL

El sistema generador en un micrófono de este tipo es un cristal de sal de Rochelle, que tiene la propiedad de presentar una diferencia de potencial entre sus caras laterales cuando se le somete a una presión mecánica.

Lleva un diafragma que se mueve con la presión de las ondas sonoras que a él llegan. Este diafragma está unido al cristal, que se comprime más o menos según el desplazamiento del diafragba, generando una tensión que sigue estos desplazamientos y por tanto las variaciones de presión.







Constitución, curva de respuesta y diagrama de direccionalidad de un micrófono de cristal.

Propiedades

Tiene un nivel de salida bastante alto (de —50 a —60 dB) y una impedancia de salida del orden de 100 KΩ. Esta alta impedancia hace posible su acoplamiento directo a la rejilla de la primera válvula del amplificador sin necesidad de un adaptador de impedancias.

Generalmente tiene una respuesta de frecuencias plana entre 50 c/s y 10 Kc/s, aunque algunos abarcan bandas más anchas. Un cable de conexión demasiado largo afecta la respuesta a altas frecuencias.

Deben preservarse de la humedad y de las temperaturas superiores a 54° C, pues en estas condiciones se inutiliza el cristal de sal.

Son omnidireccionales, aunque los hay unidireccionales.

Fotografía de un micrófono dinámico. El aspecto exterior de la mayoría de los diversos tipos de micrófono es similar.

MICROFONOS DINAMICOS

Los micrófonos dinámicos tienen un diafragma metálico, unido mecánicamente a una bobina móvil situada en el campo magnético creado por un imán permanente fijo.

Al llegar la onda sonora al diafragma, éste se desplaza arrastrando la bobina móvil, que al moverse en el interior de un campo magnético motiva que en ella aparezca una tensión inducida proporcional al desplazamiento que haya sufrido.

Propiedades

La impedancia de salida es muy baja (del orden de 30 a 50 Ω). Llevan casi siempre incorporado un transformador de elevada impedancia de salida (unos 25 KΩ).

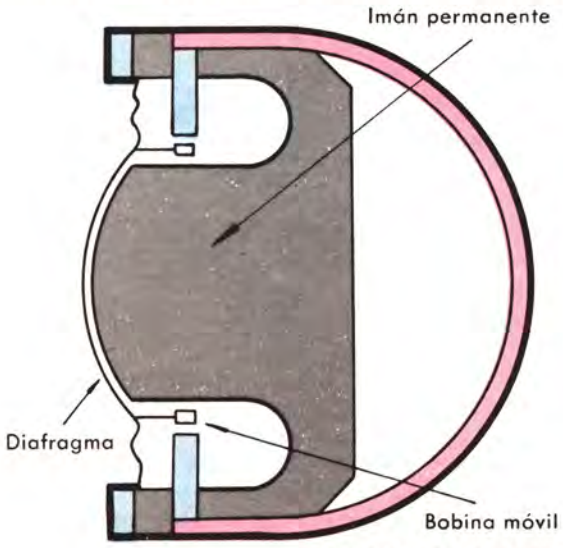
Son robustos y no les afectan los cambios atmosféricos.

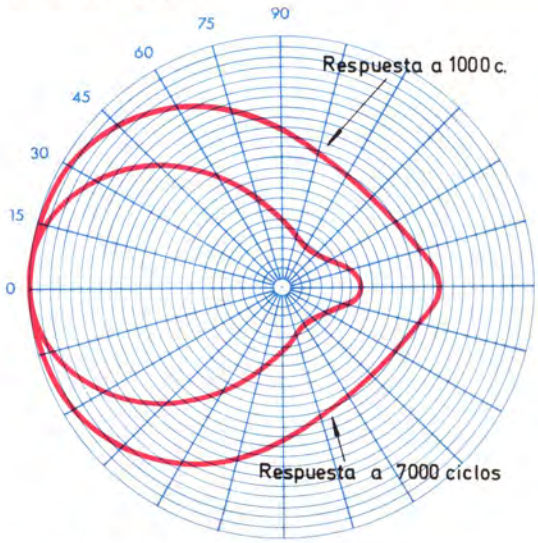
Su nivel de salida es de unos 55 dB, por debajo de 1 mW.

Las propiedades direccionales pueden verse en la curva polar.

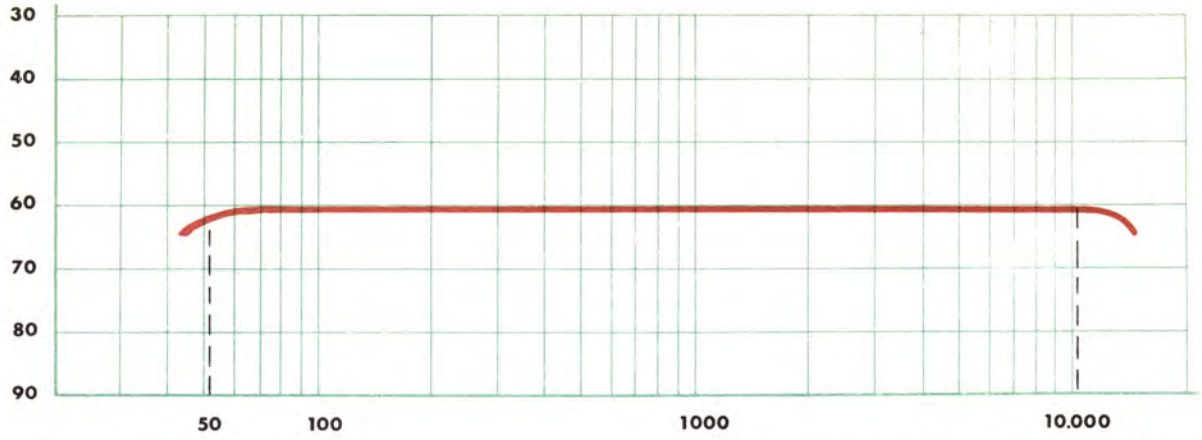
Cuando no tienen incorporado el transformador elevador de impedancia puede utilizarse una conexión larga, dado que en una línea de baja impedancia las pérdidas tienen muy poca importancia.

La respuesta de frecuencia es plana desde 30 hasta unos 13 Kc/s.





Constitución y diagrama de direccionalidad de un micrófono dinámico.



Curva de respuesta de un micrófono dinámico.

MICROFONOS DE CINTA

Se basan en el mismo principio que los dinámicos, con la única diferencia de que el elemento que se mueve en el campo magnético permanente es una delgada cinta de aluminio.

Propiedades

La impedancia propia de la cinta es muy baja (no llega a 1 Ω), por lo que generalmente está unido al micrófono un transformador que eleva la impedancia hasta 25 ó 35 KΩ aproximadamente.

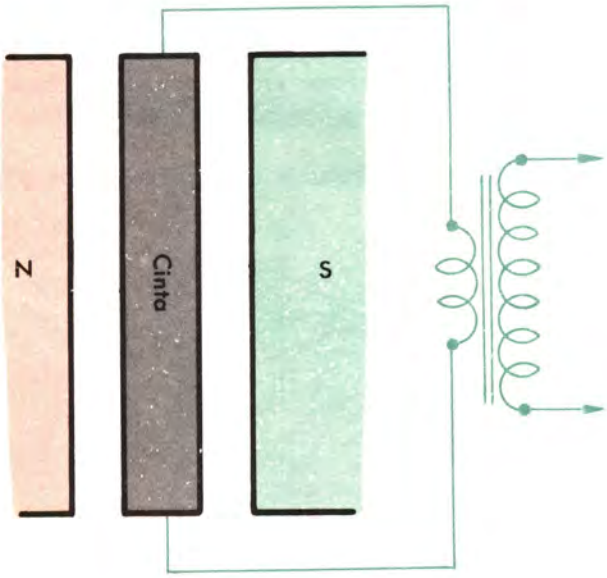
El nivel de salida es del orden de —60 dB.

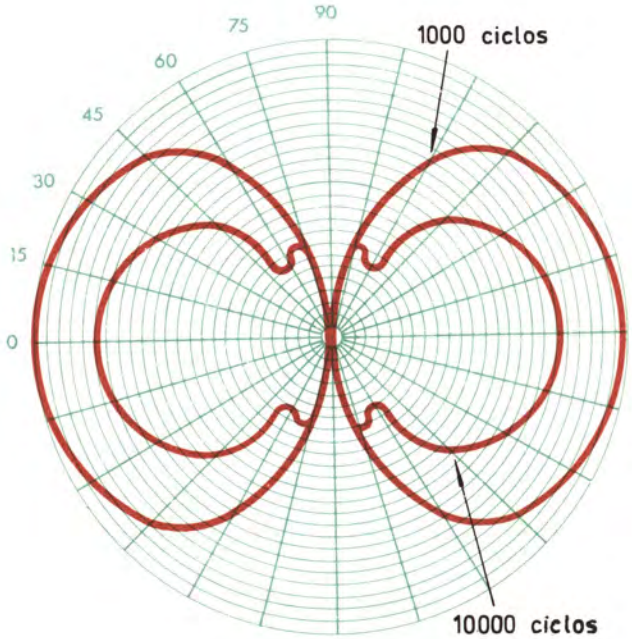
La respuesta de frecuencia es excelente; es plana desde unos 25 c/s hasta 18 Kc/s.

En la curva polar puede verse su respuesta direccional.

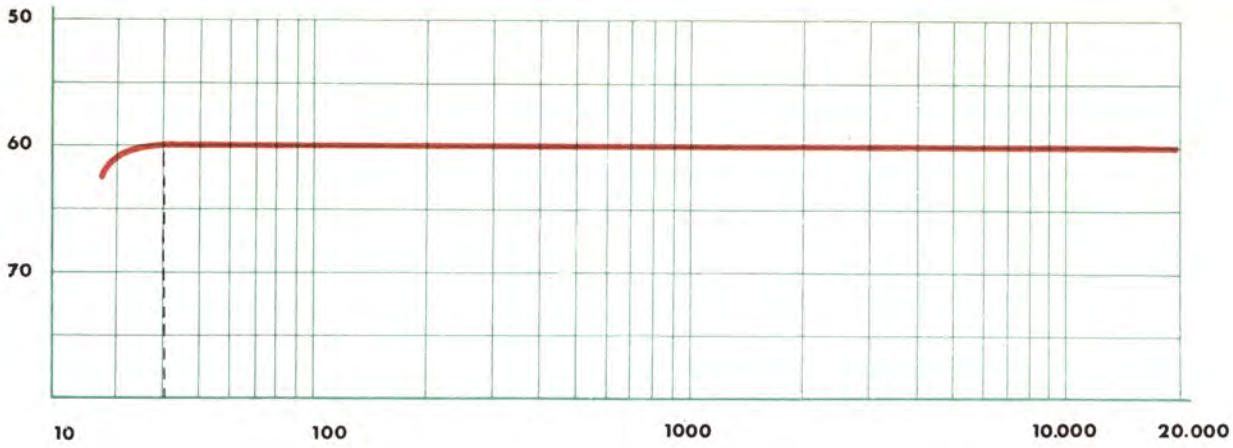
Son muy sensibles al movimiento del aire, por lo que deben resguardarse del viento circulante.

La fuente sonora debe estar separada unos 45 cm como mínimo.





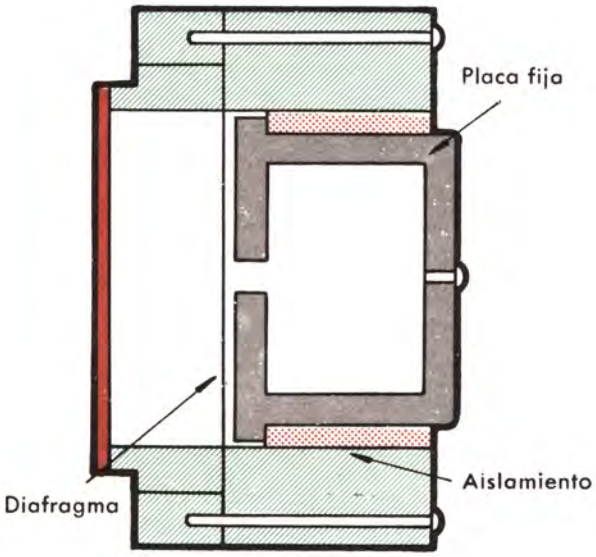
Constitución y diagrama de direccionalidad de un micrófono de cinta.

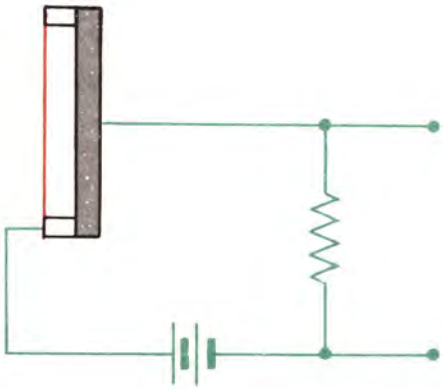


Curva de respuesta de un micrófono de cinta.

MICROFONOS DE CONDENSADOR

En esencia se trata de un condensador de aire en serie con una resistencia, sometidos a una tensión constante. Una de las placas del condensador es un diafragma que varía de posición la presión de la onda sonora que le alcanza. Al variar la posición varía la distancia entre las armaduras de condensador, y en consecuencia su capacidad y carga, motivo por el cual también varía la intensidad que atraviesa la resistencia y, por tanto, la tensión en los bornes de ésta.





Constitución y esquema de principio del montaje de un micrófono de condensador.

Propiedades

Nivel de salida extremadamente bajo, por lo que el propio micrófono lleva incorporado un pequeño amplificador.

La impedancia de salida depende del amplificador incorporado.

La respuesta de frecuencia es excelente en toda la gama de audio.

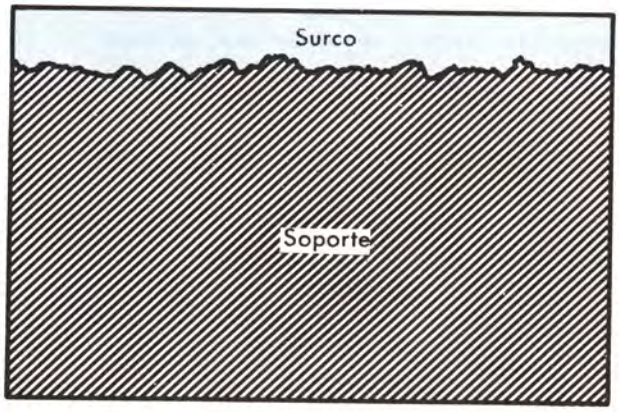
GRABACION DE DISCOS

El registro de un disco acostumbra comenzar con un registro en cinta magnética. Después de efectuado este registro, que ofrece tanto para el artista como para el técnico un previo control de calidad, se traslada el registro de la cinta a un disco de cera o laca. Con este original se hace un disco maestro por el procedimiento del clisé de cobre. El disco saliente del maestro presenta el surco modulado del original y puede usarse como matriz directa para fabricar las copias.

Cuando el surco del disco no tiene información ninguna es una espiral perfecta. Al modularlo esa espiral se deforma lateralmente o verticalmente, según el procedimiento del registro.

Actualmente la gran mayoría de discos están grabados por el procedimiento de registro lateral, por lo que limitaremos nuestro estudio a este tipo registro.

Registro lateral
Modulado



Registro vertical
Modulado

ELEMENTOS NECESARIOS PARA UN REGISTRO LATERAL

Los elementos necesarios para producir un registro lateral de disco son:

1. Disco con superficie recubierta de cera o laca.
2. Un grabador.
3. Un plato giradiscos.
4. Un tornillo guía o tornillo sin fin para el arrastre del elemento grabador.
5. Un dispositivo amplificador que suministre la potencia necesaria para accionar el grabador.

En general el técnico se halla más interesado por los procesos de reproducción que por los de grabación, de manera que nos limitaremos aquí a citar brevemente las características que deben satisfacer los elementos de grabación y a analizar con algun detalle las características de la grabación lateral, que resulta imprescindible conocer para el diseño de los equipos reproductores.

DISCO

Existen dos tipos esenciales de discos utilizados en grabación: los empleados en grabación rápida, o sea los que pueden ser reproducidos inmediatamente sin proceso alguno, y los discos que una vez grabados sirven como disco maestro para fabricar una matriz directa que sirve para obtener un número elevado de impresiones para discos comerciales.

a) Discos de grabación rápida. Constan de una base, que generalmente es de aluminio en los discos de gran diámetro y de cartón en los de diámetros pequeños, recubierta de una composición especial a base de nitrato de celulosa. Han de ser extremadamente planos y lisos.

b) Discos maestros. Son los empleados en los estudios de grabación. Están constituidos por una base dura más o menos gruesa, recubierta de cera o laca. Como los anteriores, han de ser extremadamente planos y lisos, debiéndose cuidar la calidad del material de recubrimiento.

GRABADOR

El grabador es un traductor electromecánico encargado de convertir la energía eléctrica que se le suministra en energía mecánica para mover el estilete y producir las impresiones correspondientes. Los tipos de grabadores más corrientes son los magnéticos y los de cristal.

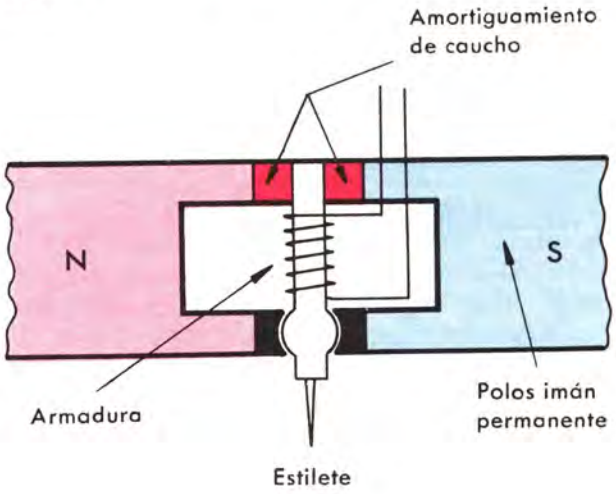
Grabador magnético

Actúa por el mismo principio de funcionamiento que un micrófono dinámico. Está formado por un imán permanente entre cuyas piezas polares se encuentra la armadura, que en su parte inferior admite la fijación del estilete. Gracias a un juego de la parte inferior el conjunto puede adquirir un movimiento basculante. La armadura está sujeta al imán por un amortiguador de caucho. La bobina está devanada alrededor de la armadura.

Al aplicar la señal de audio a los bornes de la bobina, ésta adquiere un movimiento por encontrarse en el interior del campo magnético creado por el imán fijo. Este movimiento tiene la particularidad de que *su velocidad es constante cuando permanece constante la tensión aplicada.* La amplitud de la oscilación sólo está limitada por el movimiento que permiten la armadura y el amortiguador.

Fíjese bien en este punto: *en un grabador magnético,* LA VELOCIDAD *con que se mueve el estilete tan sólo depende de la tensión aplicada a la bobina de la armadura; esta velocidad es constante cuando lo es la tensión en los terminales.*

En este caso el estilete no puede tener más movimiento que el lateral, por lo que al ser aplicado el grabador al disco lo registra en este sentido.



Grabador magnético.

Grabador de cristal

El fundamento de este tipo de grabador se halla en las propiedades piezoeléctricas de los cristales de algunas sales.

Están constituidos por cierto número de láminas (de tres a cinco) de cristal de sal de Rochelle a los que el estilete está mecánicamente acoplado.

Al aplicar una tensión a los cristales, éstos se deforman por su propiedad piezoeléctrica; como el estilete está mecánicamente unido a ellos, el extremo de éste sufre unos desplazamientos que por la colocación del cristal quedan limitados en sentido lateral.

Dado que la deformación de uno de estos cristales es proporcional a la tensión que se le aplica, al mismo, esta deformación es constante cuando también lo sea la tensión aplicada a la bobina.

Los grabadores de cristal tienen, pues, la siguiente propiedad: LA AMPLITUD *de la desviación lateral del estilete a causa de la deformación del cristal sólo depende de la tensión aplicada; si la tensión es constante también lo es la amplitud.*

TIPOS DE REGISTRO LATERAL

Dentro del procedimiento de registro llamado lateral, existen dos formas de grabación:

1. Amplitud constante.
2. Velocidad constante.

Es indispensable conocer el significado de estos términos y saber en qué consisten estos procedimientos, para comprender más adelante lo que son las curvas de compensación y cuál es la misión del control llamado ecualizador de que van provistos los amplificadores de reproducción.

REGISTRO LATERAL POR AMPLITUD CONSTANTE

Supongamos que queremos registrar una onda de 1000 ciclos de determinada intensidad. Al grabador le llega una tensión senoidal de la misma frecuencia y de una amplitud dependiente de la intensidad de la onda sonora. Efectuamos el registro con un grabador de cristal.

Si se mantiene constante la intensidad del sonido, también es constante la amplitud de la tensión que llegue al grabador.

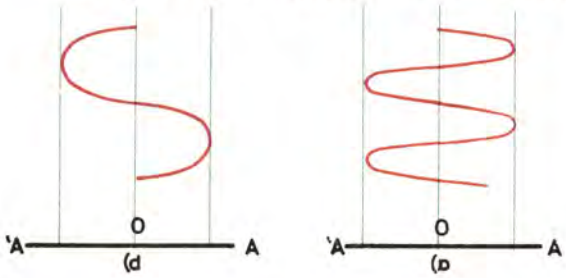
Es estas condiciones, al aplicar la tensión al cristal del grabador éste se deforma; la magnitud de la deformación que sufre depende de la amplitud de la onda de tensión. En cada semiperíodo (por ser tensiones de sentido inverso) las deformaciones tienen sentidos opuestos; en consecuencia, el cristal vibra a la misma frecuencia que la tensión alterna aplicada y con una amplitud dependiente de la propia amplitud de la tensión.

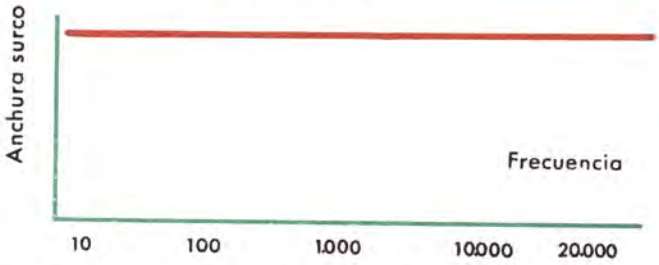
Variemos ahora la frecuencia del sonido que estamos grabando y conservemos su intensidad. Si la amplitud de la tensión aplicada al cristal es la misma también será idéntica la deformación que sufra, y por tanto el desplazamiento del estilete. Ahora, pues, el estilete describirá un movimiento lateral de la misma amplitud que antes y de frecuencia idéntica a la de la onda grabada.

Empleando un grabador de cristal, la amplitud del movimiento lateral del estilete se mantiene constante mientras lo sea la de la tensión aplicada al cristal y la frecuencia de vibración es la misma que la de la onda de tensión que se registre.

A este tipo de grabación se le denomina por *amplitud constante.*

En la figura representamos la relación frecuencia/anchura del surco para un registro de amplitud constante. Como se ve, la anchura es independiente de la frecuencia.





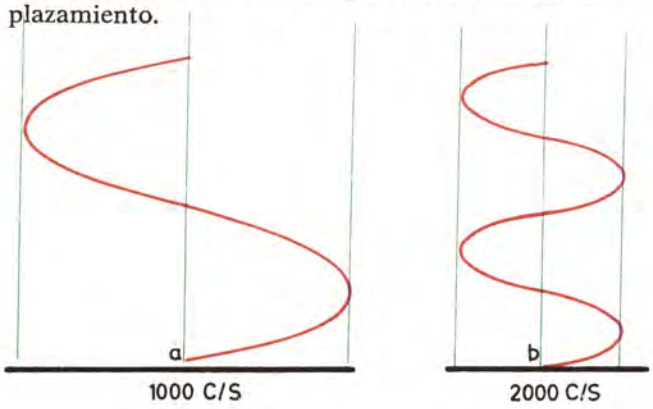
Cuando la grabación se efectúa a amplitud constante la anchura del surco no depende de la frecuencia.

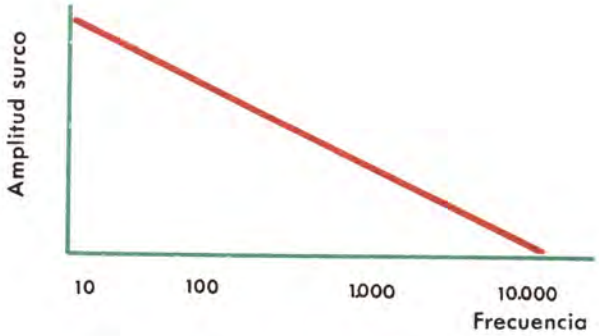
REGISTRO LATERAL POR VELOCIDAD CONSTANTE

Supongamos ahora que nos proponemos efectuar el registro utilizando un grabador magnético.

En este tipo de grabador la tensión aplicada *no controla la amplitud* del desplazamiento del estilete, *sino la velocidad* con que se efectúa ese desplazamiento.

Esto tiene una consecuencia importante: al aumentar la frecuencia de los sonidos grabados, aun manteniendo constante su intensidad, disminuye la amplitud de los movimientos del estilete y por tanto la amplitud de la impresión en el disco.





Cuando la grabación se efectúa a velocidad constante, la amplitud de la impresión en el surco disminuye al aumentar la frecuencia.

En efecto: supongamos que llega al micrófono un sonido de 1000 c/s y que la impresión correspondiente que el estilete deja en el disco es la indicada en *a*. Si la frecuencia del sonido pasa a ser de 2000 c/s *sin variar de intensidad*, la velocidad con que se mueve el estilete es la misma que en el caso anterior, pues la tensión aplicada al grabador también tiene el mismo valor. Ahora bien; el estilete debe describir un ciclo completo en la mitad de tiempo que antes; y como no lo hace más de prisa ello significa que el camino recorrido se ha reducido a la mitad. Es decir: que la impresión sobre el disco tiene menos amplitud que antes, tal como se indica en el gráfico *b*.

Con este procedimiento, pues, y como se indica en el gráfico inmediato, la amplitud de la impresión disminuye a medida que aumenta la frecuencia.

Tiene el doble inconveniente de que ante las frecuencias bajas la amplitud de movimientos del estilete es tan grande que puede rasgar el surco y para las frecuencias altas tan pequeña que se confunde con las asperezas propias del material que compone el disco, con lo que la relación señal/ruido se hace muy desfavorable y la calidad de la reproducción empeora.

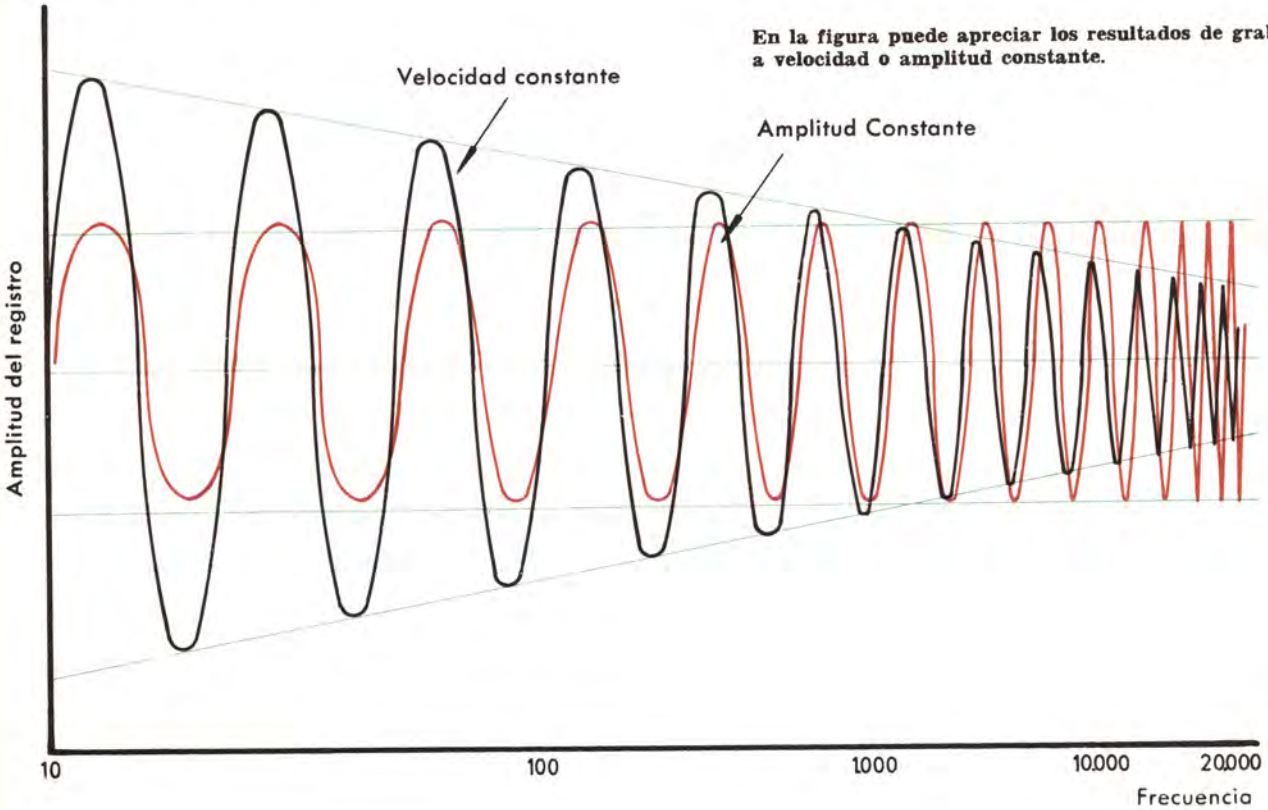
TIPO DE REGISTRO LATERAL UTILIZADO PRACTICAMENTE

Al tratar del registro por amplitud constante hemos visto que el desplazamiento del estilete del grabador, y en consecuencia el ancho del surco, permanece constante al variar la frecuencia; en cambio, para el registro a velocidad constante el ancho del surco depende de la frecuencia; es muy grande para frecuencias bajas y muy pequeño para las altas frecuencias.

La distancia entre dos surcos contiguos es muy reducida; debe evitarse que los desplazamientos del estilete al grabar uno de ellos rebasen la zona que le separa del otro.

En un registro de amplitud constante el problema tiene fácil solución: basta con limitar el desplazamiento máximo del estilete a una distancia insuficiente para cruzar la separación del surco. Pero en un registro de velocidad constante la solución no es tan fácil. Al disminuir la frecuencia a la mitad, el ancho del surco es el doble; y si en un disco hay que grabar frecuencias comprendidas entre 20 y 20.000 ciclos, el ancho del surco para 20 ciclos sería unas mil veces superior al correspondiente a los 20.000. Además, para que en las frecuencias más altas el ancho del

En la figura puede apreciar los resultados de grabar a velocidad o amplitud constante.



surco fuera lo suficientemente grande como para que el registro no se confundiera con el ruido, en las bajas frecuencias correspondería un surco tan ancho que la separación entre surcos tendría que ser mucho mayor de lo que puede emplearse.

A pesar de las pocas dificultades que presenta la grabación por el registro de amplitud constante, los fabricantes de discos son reacios a cambiar los antiguos procedimientos de grabación por velocidad constante. La mayoría sigue con este sistema, aunque modificado para solucionar el problema que representa la limitación del ancho del surco.

A este tipo de registro, que es el actualmente empleado por la mayoría de las casas grabadoras, se le llama *registro por velocidad constante modificada.*

VELOCIDAD CONSTANTE MODIFICADA

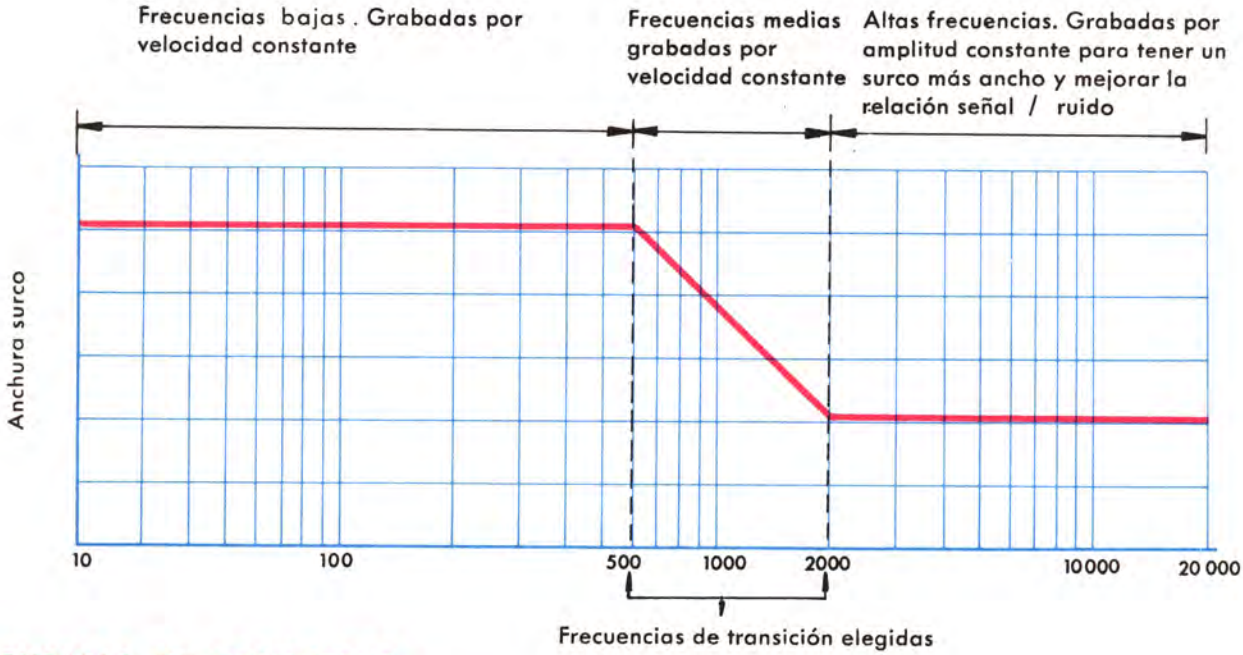
El problema que presenta una grabación de velocidad constante es el excesivo ancho del surco en frecuencias bajas y su poca anchura para las altas frecuencias.

Para salvar esta deficiencia, lo que se hace es grabar las frecuencias más bajas y las más altas por amplitud constante, mientras que las frecuencias comprendidas entre dos límites preestablecidos (llamadas frecuencias de transición) se graban por velocidad constante.

Para las frecuencias bajas, la de transición queda entre los 500 y 1000 c/s (depende de los fabricantes); para las altas, unos 2000 c/s acostumbra ser el valor elegido.

Así quedan resueltos los dos inconvenientes que presenta la grabación por velocidad constante. La relación ancho del surco/frecuencia queda representada en la gráfica que sigue, en la que se han elegido como frecuencias de transición 500 y 2000 ciclos.

Este resultado se consigue diseñando el amplificador que precede al grabador de manera que reduzca la amplitud de las señales cuya frecuencia es inferior a 500 c/s proporcionalmente al valor de su frecuencia, y que aumente la amplitud de las de frecuencia superior a 2000 c/s también en forma proporcional a la frecuencia, manteniéndose la amplificación constante entre 500 y 2000 c/s.



CURVAS DE RESPUESTA

Las curvas de respuesta de una grabación son gráficos convencionales que dan el nivel de salida del disco cuando se reproduce por un *pick-up* magnético perfecto.

Como veremos más adelante, el nivel de salida de un *pick-up* magnético depende de la velocidad del estilete y permanece constante cuando dicha velocidad es constante. El *pick-up* magné-

tico, pues, tiene una característica igual que el grabador magnético, con la única diferencia que aquí se genera tensión gracias a un movimiento mecánico, mientras que el grabador generaba movimiento al aplicarle tensión.

Ocurre que para el extremo inferior de la banda que se reproduce la anchura del surco es menor de lo que debiera ser de haber empleado el registro de velocidad constante; la velocidad de la aguja es inferior de lo que debiera, y por tanto también es menor la tensión que se genera.

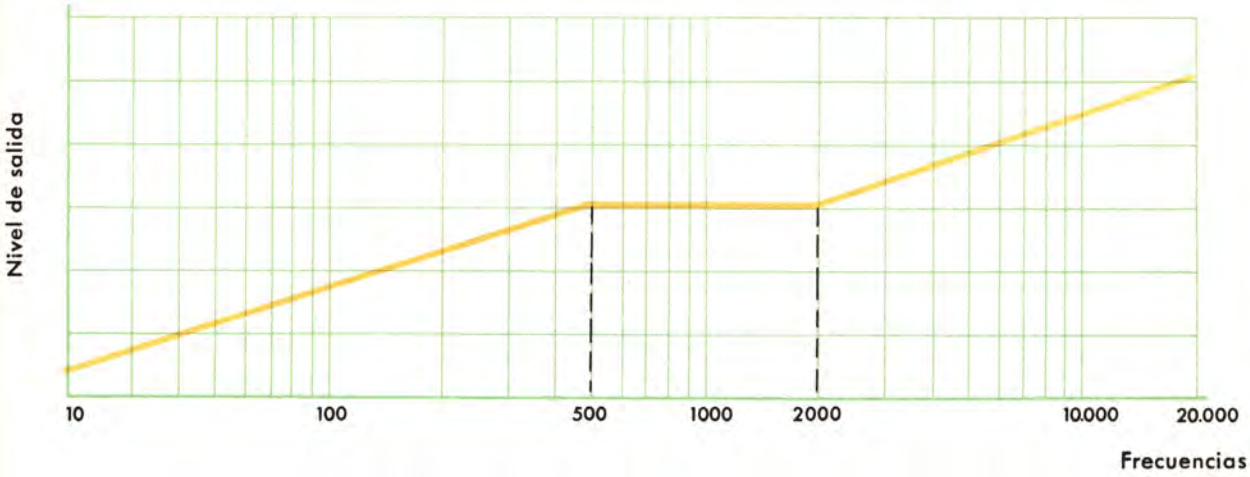
En el extremo superior de la banda la anchura del surco se ha aumentado, por lo que la velocidad de la aguja es mayor y aumenta la tensión generada. En el centro de la banda, dado que el registro se lleva a cabo a velocidad constante, la tensión que se genera en el *pick-up* magnético es también constante para todas las frecuencias.

De lo anterior deducimos que cuando se reproduce por un *pick-up* magnético un conjunto de sonidos que abarque toda la gama de audio, que haya sido grabado por velocidad constante modificada, las frecuencias inferiores tienen un nivel inferior al que poseían en la fuente sonora, mientras que el extremo superior de la banda está reforzado. En otras palabras, la reproducción presenta un predominio de los tonos agudos.

Éste es el motivo de que exista en los amplificadores un paso igualador, cuya misión es reforzar las frecuencias bajas y atenuar las altas.

Como cada fabricante adopta las frecuencias de transición que más le convienen, estos circuitos igualadores han de ser diferentes para cada marca de disco, por lo que los amplificadores de Hi-Fi disponen de un paso especial llamado ecualizador que incluye circuitos de corrección para las curvas de registro más corrientes.

Cada fabricante da las llamadas *curvas de respuesta* o *características de registro.*



Respuesta de un pick-up magnético al efectuar la lectura de un disco grabado a velocidad constante modific

CARACTERISTICAS DE GRABACION

Como hemos dicho, cada fabricante elige las frecuencias de transición, aunque no arbitrariamente, sino siguiendo unas normas propuestas por diferentes comisiones.

Estas características se denominan por unas letras que casi siempre son las iniciales de la comisión que las ha propuesto.

Sucesivamente se han empleado diferentes características. Las primitivas para 78 r.p.m. eran EAB, FFRR, EU78, HMV, LP, AM78. Ultimamente existe una tendencia a normalizar estas curvas características, la mayoría de los fabricantes acepta las curvas propuestas por la Asociación de Industria de Radio de América (Record Industry Association of America = RIAA), la National Association of Broadcasters (NAB), Electronic Industries Association (EIA), AES (Audio Engineering Society) y EMI.

A continuación indicamos las características de grabación de las marcas de discos más conocidas.

CARACTERISTICAS DE GRABACION DE ALGUNAS MARCAS DE DISCOS

Alhambra	EMI
Allegro	LP
American Rec. Soc.	AES
Angel	NARTB
Atlantic	»
Bach Guild	LP
Bartok	AES
Belter	EMI
Bethlehem	RIAA
Blue Note	AES
Boston	LP
Caedmon	NARTB
Capitol	AES
Capitol - Cetro	»
Cetra - Soria	LP
Classic Editions	RIAA
Columbia (España)	EMI
Columbia	RIAA
Colosseum	»
Concert - hall	»
Cook	NAB
Coral	»
Decca	FFRR
Decca	NAB
Deutsche Gramo	RIAA
Electro	»
Epic	»
Esoteric	»
Folkwaijs	LP
Haydn - Society	»
H M V	RIAA
Kapp	»
L'oiseau Lyre	»
London	RIAA
Meintosh	»
Mercury	»
Montilla	»
New Jazz	»
Oceanic	LP
Odeon	EMI
Overtone	RIAA
Oxford	LP
Pacific Jazz	RIAA
Pathé	EMI
Period	NARTB
Philharmonia	AES
Philips	RIAA
Polydor	»
Prestige	»
RCA	»
Regal	EMI
Remington	NAB
Renaissance	PL
Riverside	RIAA
Savoy	»
Telefunken	»
Tempo	NAB
Urania	»
Vanguard	RIAA
Versailles	»
Vogue	RIAA
Vox	»
Voz de su Amo	EMI
Walden	RIAA
Westminster	LP

EL PLATO GIRADISCOS EN LA GRABACION

Los requisitos más importantes que debe cumplir un plato giradiscos destinado a grabación son velocidad constante y potencia suficiente.

Si varía la velocidad de un plato de grabación los tonos musicales aparecen ondulantes, por depender de la velocidad con que pasa el disco por debajo de la aguja.

El oído humano puede detectar variaciones del uno por cierto en una nota musical, por lo que la velocidad debe tener una fluctuación menor. En un buen plato de grabación la velocidad ha de ser constante dentro de un 0'25 % cuando gira en carga (grabando).

Cuando el estilete del grabador traza el surco sobre el disco ejerce sobre el motor un par de frenado superior al que actúa cuando el disco se reproduce; éste es el motivo por que el motor ha de tener la potencia suficiente para no disminuir la velocidad cuando el estilete está grabando. La mayoría de los platos reproductores tienen una potencia insuficiente para ser empleados como grabadores.

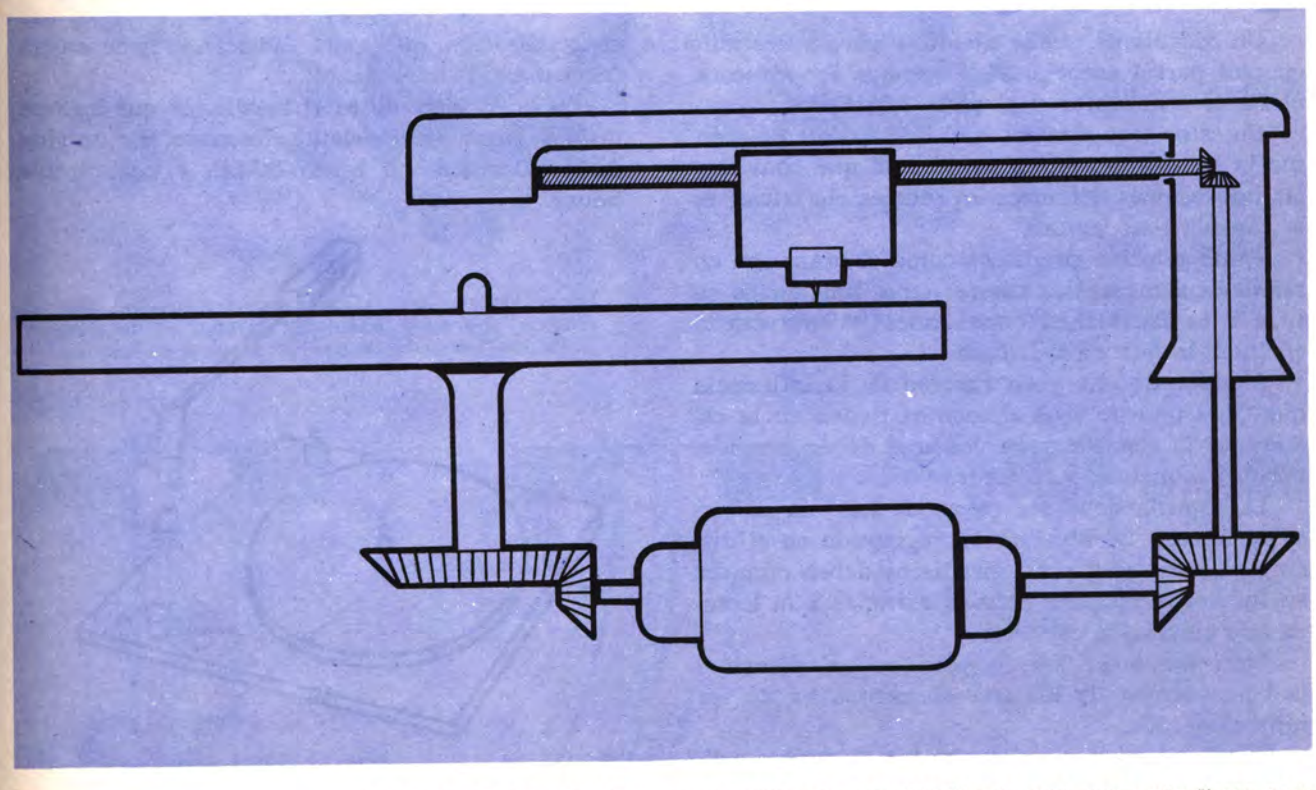
TORNILLO GUIA

Está formado por dos partes esenciales: el soporte del grabador y el mecanismo que le hace avanzar.

El avance del grabador a lo ancho del disco tiene lugar en sentido radial. Se desliza por una varilla pulida que le sirve de guía; el conjunto del soporte avanza impulsado por el giro de un tornillo sin fin, cuya velocidad de giro y paso de rosca determinan la separación entre los surcos.

El mecanismo que hace girar el tornillo sin fin está conectado al mismo motor del plato giradiscos o al eje del propio plato, según los modelos; su velocidad puede variarse por medio de un juego de ruedas dentadas cambiables.

En la figura puede verse el mecanismo en forma esquemática.



La figura ilustra, de forma esquemática, la constitución de una mesa giradiscos para la grabación.

AMPLIFICADOR

El amplificador es quizás la parte más importante del equipo grabador. Ha de presentar una respuesta plana para una banda a ser posible bastante superior a la de audio y tener una potencia aproximada unas diez veces superior a la que precisa el grabador.

Este amplificador debe tener la más esmerada construcción; debe exigirse mucho más de sus características que de los amplifiadores destinados a reproducción. Con un amplificador mediocre puede reproducirse un buen disco con resultado bastante aceptable; sin embargo con un amplificador mediocre de grabación es imposible conseguir un buen disco y por excelente que sea el equipo reproductor los resultados son deficientes.

Los requisitos que debe cumplir un amplificador destinado a grabación son:

1. Respuesta plana entre 10 y 30.000 ciclos.
2. Relación señal/ruido no inferior a 50 dB.
3. Potencia diez veces superior a la nominal del grabador. Para trabajos de aficionados son suficientes unos 10 W; para fines profesionales la potencia requerida es de unos 50 W.
4. Distorsión máxima del 2 % para un nivel de salida de 10 dB por encima de la potencia nominal del grabador.
5. Ha de tener, como elementos indispensables, controles de ganancia, circuitos de conmutación e indicador de volumen para controlar el nivel de grabación.

LECTURA DE DISCOS - TOCADISCOS

El objeto de un tocadiscos es extraer la información previamente registrada en un disco y convertirla en impulsos eléctricos.

Para comprender mejor el funcionamiento del tocadiscos y las particularidades que se le exigen, veamos primeramente cuáles son las partes esenciales que lo componen y qué exigencias debe satisfacer cada una de ellas.

PARTES DE UN TOCADISCOS

Un tocadiscos puede dividirse para su estudio en tres partes esenciales: la cápsula fonocaptora, el brazo fonocaptor y el plato giradiscos.

De estos tres elementos el que realmente efectúa la lectura del disco, es decir el que convierte las impresiones del surco en señales eléctricas, es la cápsula fonocaptora.

Tanto el plato giradiscos como el brazo son en realidad elementos auxiliares cuya función es situar a la cápsula en condiciones de que pueda efectuar la lectura del disco.

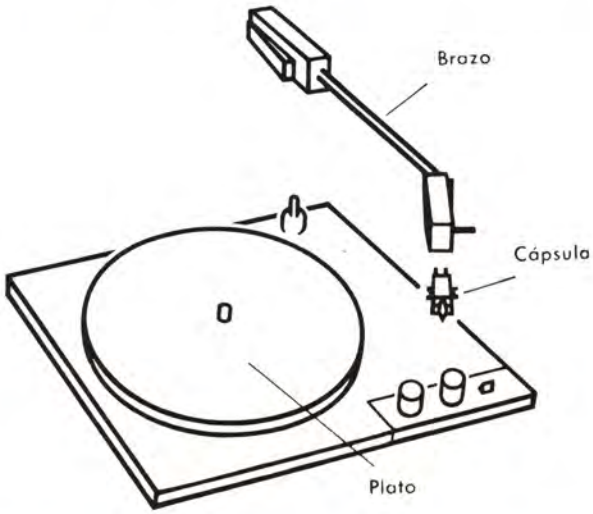
A pesar de ello y en función de la influencia que cada uno de esos elementos tienen en la calidad de la reproducción, los tres deben considerarse igualmente importantes.

La cápsula debe ser capaz de leer sin distorsionarla toda la información registrada en el disco y el brazo y el plato giradiscos deben cumplir su función sin añadir señales extrañas a la lectura que efectúa la cabeza.

Para satisfacer esas condiciones, el diseño y la construcción de los tres elementos ha de ser muy esmerada.

Tanto es así que los conjuntos de mayor calidad suelen estar construidos por elementos de distinta marca, pues así se aprovecha la mayor especialización que cada fabricante tiene en un determinado componente.

Un buen ejemplo es el tocadiscos que aparece unas páginas más adelante, formado por un giradiscos Garrard, un brazo S.M.E. y una cápsula Shure.



Las partes esenciales de un tocadiscos son la mesa giradiscos, el brazo y la cápsula fonocaptora.

CAPSULA FONOCAPTORA

Tiene la misión de convertir en impulsos eléctricos el movimiento mecánico de la aguja. Se ocupa, por así decirlo, de deshacer el trabajo que ha efectuado el grabador. Es, en consecuencia, un elemento transductor electromecánico.

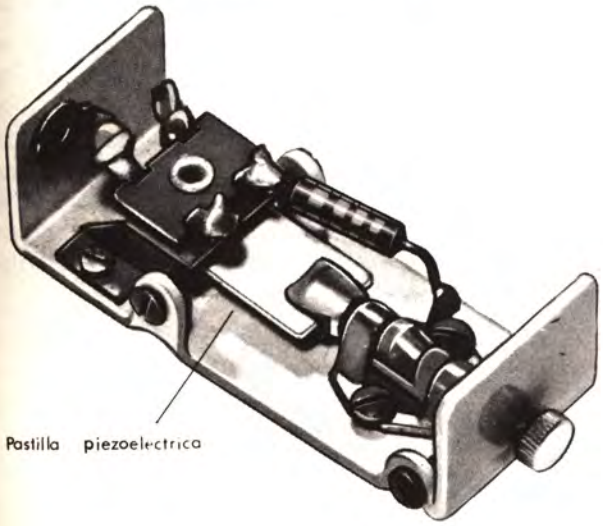
Las cápsulas fonocaptoras se clasifican según su principio de funcionamiento en cuatro grupos: cápsulas de cristal, magnéticas, dinámicas y de capacidad. En lo que sigue analizaremos las propiedades de cada de una de ellas.

CAPSULAS DE CRISTAL Y CAPSULAS CERAMICAS

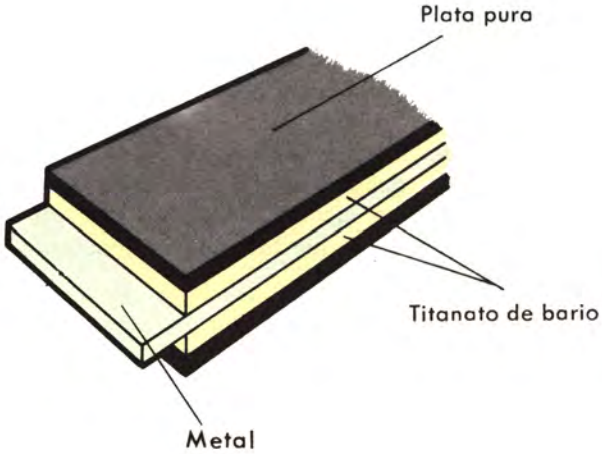
Son las más económicas y sencillas. Su respuesta de frecuencia es satisfactoria para reproducciones en Hi-Fi.

Su funcionamiento se basa en las propiedades piezoeléctricas de algunos cristales. Las tensiones se generan por la deformación que el movimiento de la aguja transmite a un cristal.

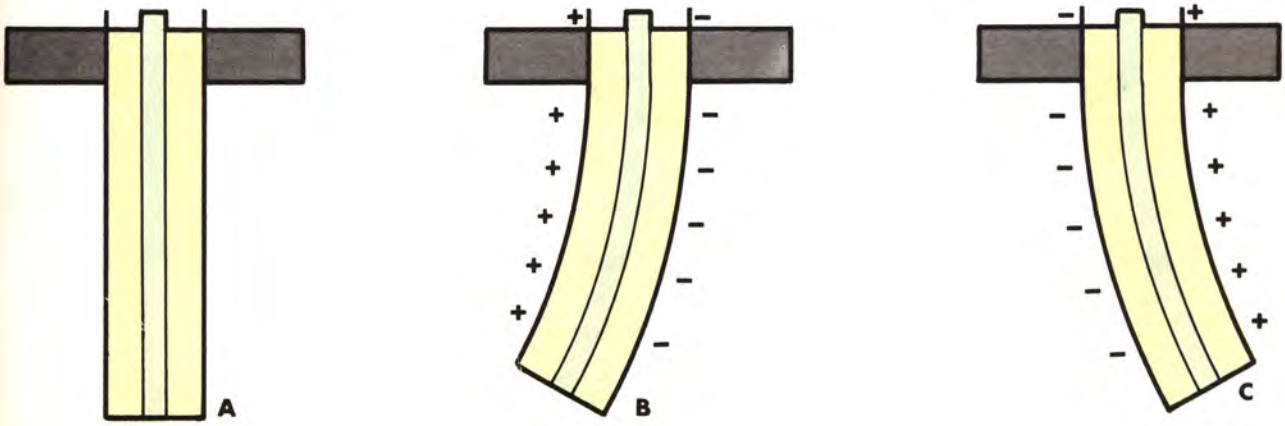
Aunque la sal cristalina generalmente empleada es la de Rochelle, desde no hace mucho se utilizan para el mismo tipo de fonocaptores otros cristales formados por titanato de bario, recubierto de cerámica, que presentan una respuesta de frecuencia muy mejorada con respecto a los anteriores.



Esta fotografía corresponde a una cápsula piezoeléctrica de modelo anticuado, pero que permite apreciar claramente la constitución del conjunto.



Constitución de una cápsula cerámica. Los gráficos inferiores indican el principio de funcionamiento.



Propiedades

Si el registro se ha efectuado por amplitud constante, la respuesta de estas cápsulas es plana entre 30 y 15.000 ciclos, con una tolerancia de 3 dB. Para las cápsulas de cerámica, la banda se extiende hasta 18.000 ciclos aproximadamente.

Su sensibilidad varía con la temperatura; es máxima a 24° C. Se destruyen a 54° centígrados.

La distorsión que introducen es muy reducida y depende mucho de su calidad.

Como los registros se efectúan por velocidad constante modificada, y el fonocaptor de cristal, al igual que el grabador de cristal, tiene respuesta por amplitud, por lo general se precisa introducir una red igualadora entre el fonocaptor y la entrada del amplificador.

Cálculo de la red igualadora

Veamos en un ejemplo cómo se calcula la respuesta de esta red igualadora.

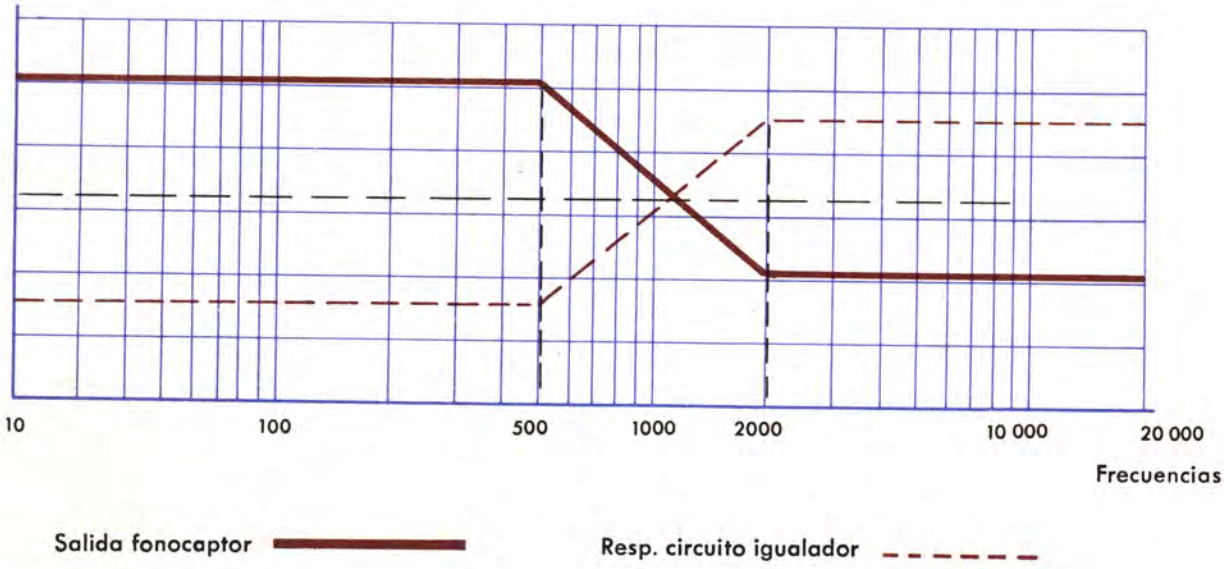
Supongamos un disco grabado con una característica ideal de frecuencias de transmisión (500 a 2000 c/s) y un fonocaptor de cristal con una salida plana entre 30 y 15.000 c/s.

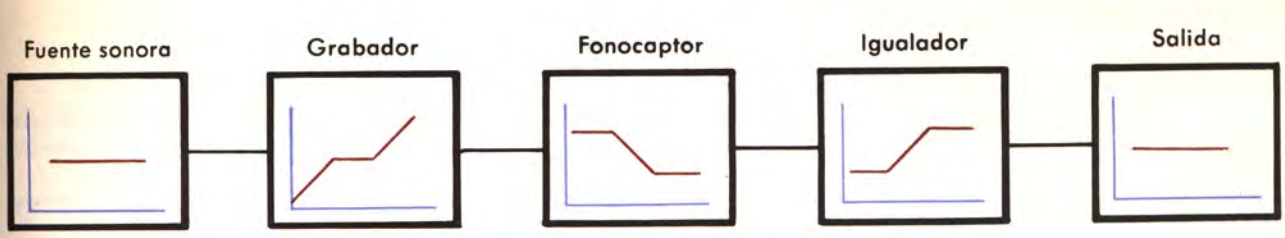
Veamos primero cuál es la salida del fonocaptor para las diferentes frecuencias. Hasta 500 ciclos la grabación se efectúa por amplitud constante; por tanto el nivel de salida del fonocaptor de cristal también es constante. Entre 500 y 2000 ciclos el registro se realiza por velocidad constante, y por tanto la amplitud va disminuyendo a medida que aumenta la frecuencia, lo que da una salida también decreciente. A partir de 2000 ciclos el registro se efectúa de nuevo por amplitud constante, por lo que también es constante la salida. En la figura puede verse la curva de salida.

Pero interesa que la curva de salida del fonocaptor sea plana; si no lo es debe agregarse el circuito igualador. Este tendrá aplicada a su entrada la salida del fonocaptor y a su salida la respuesta ha de ser plana; por lo tanto el circuito igualador ha de tener una característica inversa a la de la salida del fonocaptor.

La salida de algunas cápsulas de cristal se ha modificado intencionadamente, de manera que con una determinada característica la salida del fonocaptor es plana sin necesidad de igualación alguna.

Como hemos dicho al principio, estas cápsulas son las más económicas; en contrapartida, el grado de fidelidad obtenido con ellas es menor que el que se consigue con los tipos que describimos a continuación.





CAPSULAS MAGNETICAS Y DE RELUCTANCIA VARIABLE

Su constitución varía considerablemente de unos tipos a otros.

En esencia están formadas por un imán fijo en cuyo campo se encuentra una bobina, también fija, por el interior de la cual pasa un imán móvil unido a la aguja.

Al moverse la aguja se mueve también el imán móvil, variando la reluctancia del circuito magnético del imán fijo y por tanto el flujo. Esta variación de flujo induce en la bobina una f.e.m. proporcional a la velocidad de desplazamiento de la aguja.

Propiedades

La salida que se obtiene es muy baja; por lo que se requiere un preamplificador de elevada ganancia.

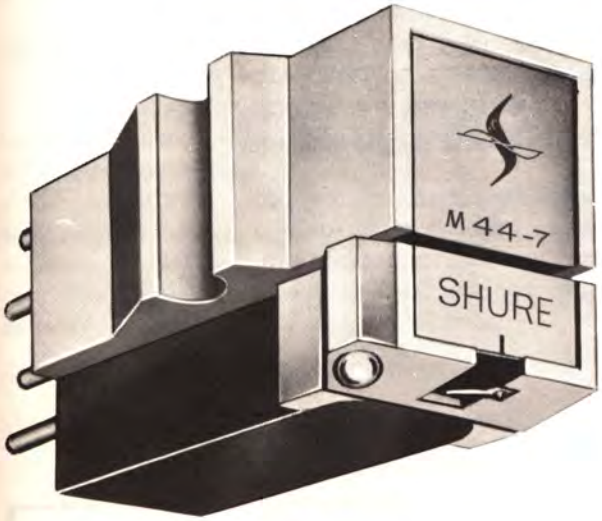
En los últimos tipos puede considerarse una respuesta plana en toda la gama de audio cuando el registro se ha efectuado por velocidad constante.

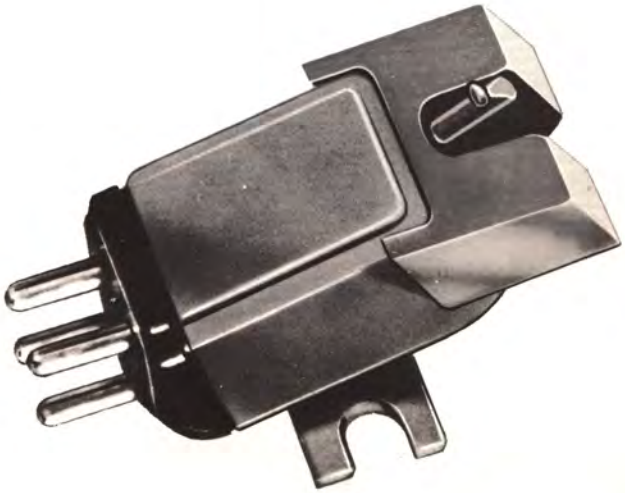
El porcentaje de distorsión es mucho más bajo que el que proporcionan las cápsulas de cristal.

La igualación es mucho más fácil de conseguir que en los fonocaptores de cristal. Basta con que la respuesta del circuito igualador sea simétrica a la característica de grabación, respecto al eje 0 dB. Vea un ejemplo en las gráficas siguientes.

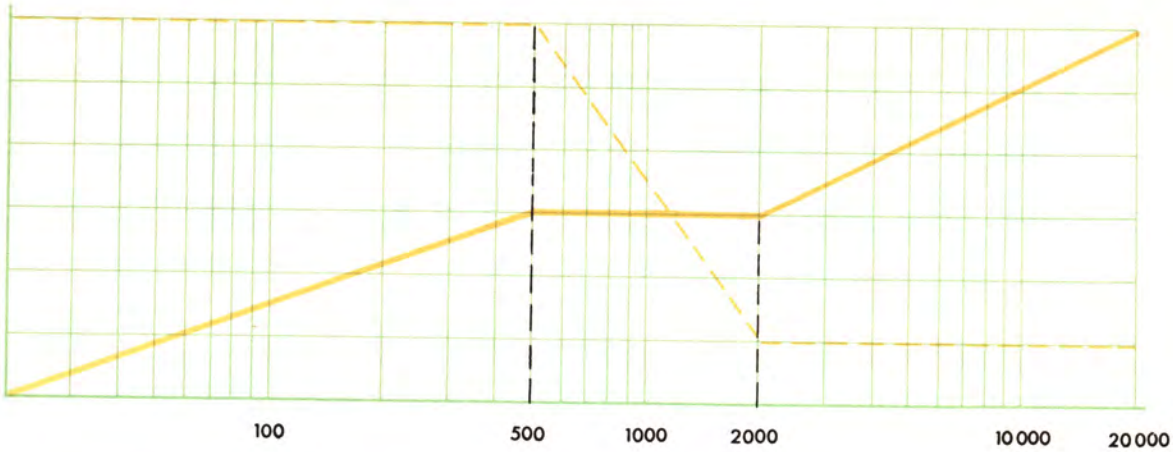
Las cápsulas de este tipo son las más utilizadas en Hi-Fi; aunque su precio es elevado está al alcance del aficionado. La calidad del sonido es muy superior a la que proporcionan las cápsulas de cristal.

El gráfico inmediato indica la constitución de un par de cápsulas. Las fotografías corresponden a cápsulas de prestigiosas marcas que funcionan también de acuerdo con el principio de reluctancia variable.



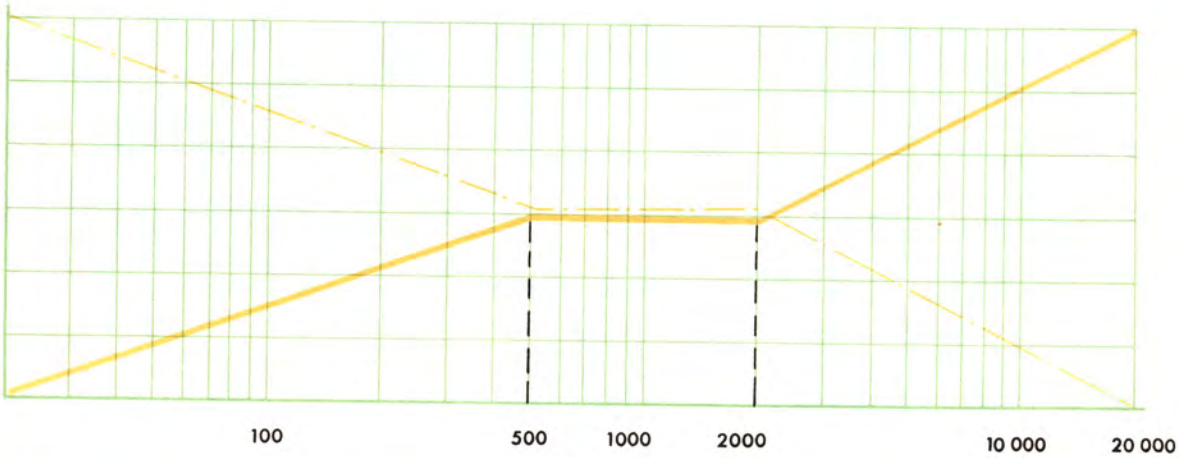


Las fotografías corresponden a las cápsulas magnéticas (V-15 de Pickering y M-44 de Shure).



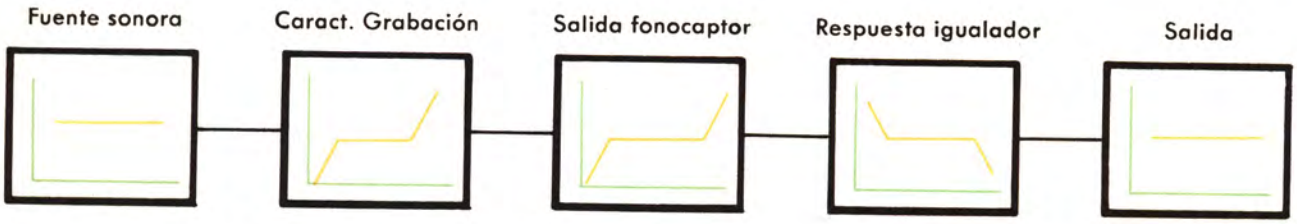
Características de grabación

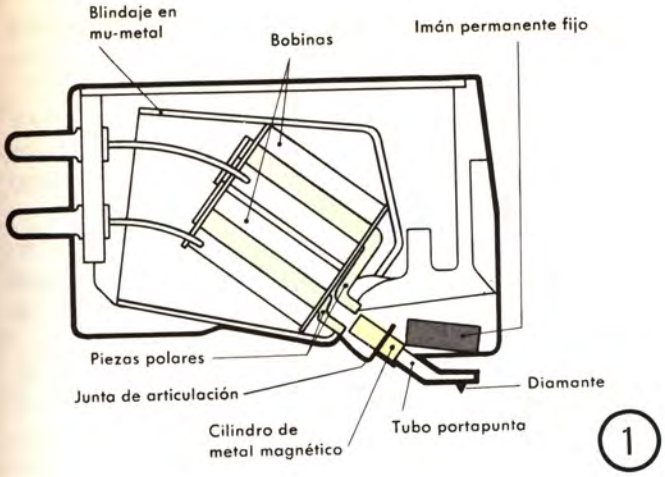
Salida fonocaptor magnético

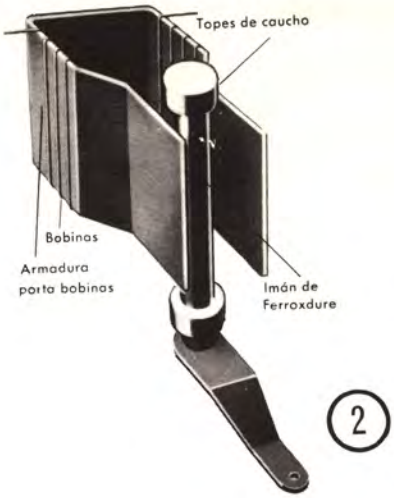


Salida fonocaptor magnético

Respuesta circuito igualador







Constitución de la cápsula magnética ADC-4 de la Audio Dynamics Corporation.

Constitución de la cápsula AG 3021 de Philips.

CAPSULAS DINAMICAS

Están formadas por un imán y una bobina móvil a la que está unida la aguja.

Al moverse la aguja y arrastrar la bobina por el campo creado por el imán permanente, se inducen en ella f.e.m. proporcionales a los desplazamientos.

Propiedades

El fonocaptor dinámico proporciona mejores resultados que el magnético.

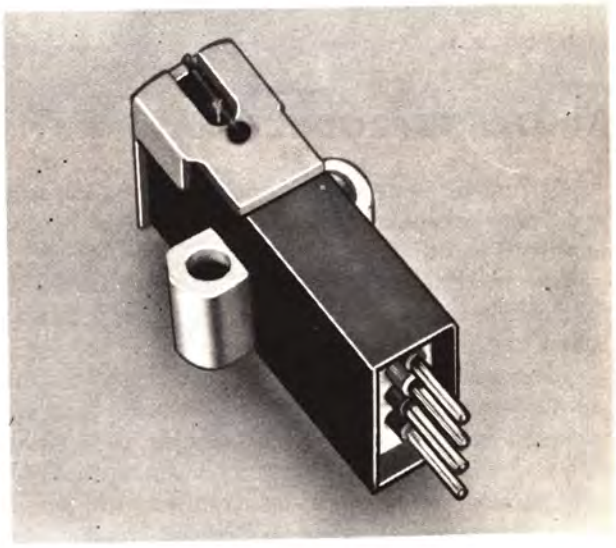
Su impedancia de salida es extremadamente baja.

La respuesta de frecuencia es muy parecida a la de las cápsulas magnéticas.

Como la lectura se efectúa por velocidad, la igualación se realiza por el mismo procedimiento que el empleado en las cápsulas magnéticas.

Algunos modelos llevan incorporado un transformador para adaptar el fonocaptor a un circuito de alta impedancia.

Su precio es elevado, por lo que normalmente sólo se emplean en equipos profesionales en los estudios de las emisoras de radiofrecuencia, por ejemplo, o bien por aquellos aficionados para quienes la economía no es un problema.



Un ejemplo de cápsula dinámica es la MK-1 de Grado.

CAPSULAS DE CAPACIDAD

Existen muy pocos modelos de este tipo de cápsula, todos los cuales se destinan a fines profesionales. Uno de los tipos más difundidos es el fabricado por Weathers Inc., que es el que describiremos.

El fonocaptor está formado por un oscilador de alta frecuencia en cuyo circuito tanque lleva un condensador cuya aguja es solidaria a una de sus armaduras. Al vibrar la aguja varía la capacidad de este condensador, y por lo tanto la frecuencia con la información de audio del disco. Es en esencia una pequeña emisora de FM.

Propiedades

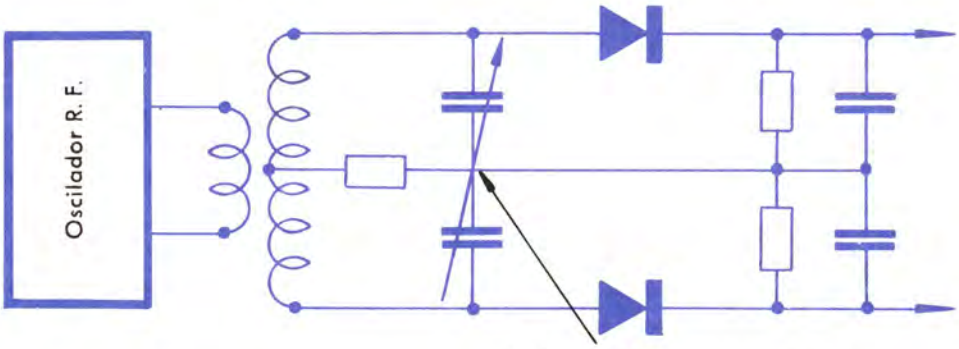
Es el fonocaptor de mejor respuesta de frecuencia que se conoce, pues es plana desde 15 hasta 30.000 ciclos.

Lee por amplitud, por lo que la igualación tiene que efectuarse del mismo modo que para el fonocaptor de cristal.

La masa del elemento vibrante es pequeñísima; además casi todo el peso del fonocaptor descansa sobre unas cerdas que pasan por el surco antes que la aguja, lo que hace que la presión de ésta sobre el disco sea muy pequeña y la inercia del brazo inapreciable.

Para extraer información de la oscilación que da el fonocaptor, se detecta con un discriminador incorporado, junto con el oscilador, en el mismo brazo del *pick-up*.

Con este tipo de fonocaptores se obtiene una dosis de fidelidad mucho más elevada que todas las anteriores, aunque a costa, como se ve, de una complejidad más que regular.



Principio de funcionamiento de una cápsula de capacidad.

AGUJAS REPRODUCTORAS

Es una de las partes esenciales de la cápsula, y de ella dependen casi por completo el desgaste y la vida útil del disco.

Los materiales empleados actualmente en la fabricación de agujas quedan reducidos a dos: zafiro y diamante.

El diamante tiene una vida casi diez veces mayor que el zafiro, y su coste es bastante más elevado. El inconveniente de las agujas de diamante es que pueden romperse con suma facilidad por percusión; a veces las inutiliza un simple golpe producido al dejar caer el *pick-up*.

La forma ideal de la aguja sería la que se adaptara perfectamente al surco; pero esto no sucede casi nunca. Si la aguja es demasiado aguzada puede oscilar libremente por el surco; si en estas condiciones es un poco elevado el peso del brazo, puede ocurrir que la aguja actúe sobre el disco ahondándolo y rayando su fondo. En cambio, si la punta de la aguja es demasiado achatada actúa desgastando los bordes del surco.

Por lo general los discos contienen algo de material abrasivo para desgastar la aguja, lo necesario como para adaptarla a la forma del surco. El desgaste excesivo de la aguja provoca, además del consiguiente deterioro del disco, reproducción imperfecta y nivel de ruido mucho más elevado.

Aguja perfecta, se adapta totalmente al surco

Aguja demasiado puntiaguda, resbala por el surco lateralmente y lo desgasta del fondo

Aguja con base demasiado ancha, desgasta las paredes laterales

La forma de la aguja

La aguja tiene forma esférica en la punta de contacto con el disco, con un radio de curvatura, para discos microsurco, del orden de 0'001 pulgadas.

Sin embargo, ésta no es la forma más adecuada de la aguja: es fácil demostrar que en estas condiciones se introduce distorsión en la lectura del disco.

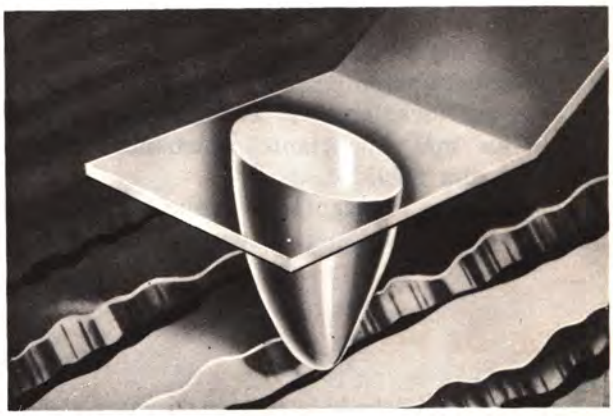
Al efectuar la grabación el estilete del grabador, que tiene forma triangular, recorre el disco siguiendo una línea lateral y deposita su información por medio de un movimiento lateral perpendicular a la dirección de avance del disco. En estas condiciones, como puede apreciarse en la figura, el ancho del surco no puede ser constante más que cuando no existe modulación alguna y en los máximos y mínimos de las ondas de modulación.

Las muy distintas formas que tienen el estilete de corte y la aguja normal de sección circular hacen que aparezcan dos tipos de distorsión cuando se efectúa la lectura de un disco mediante una de ellas:

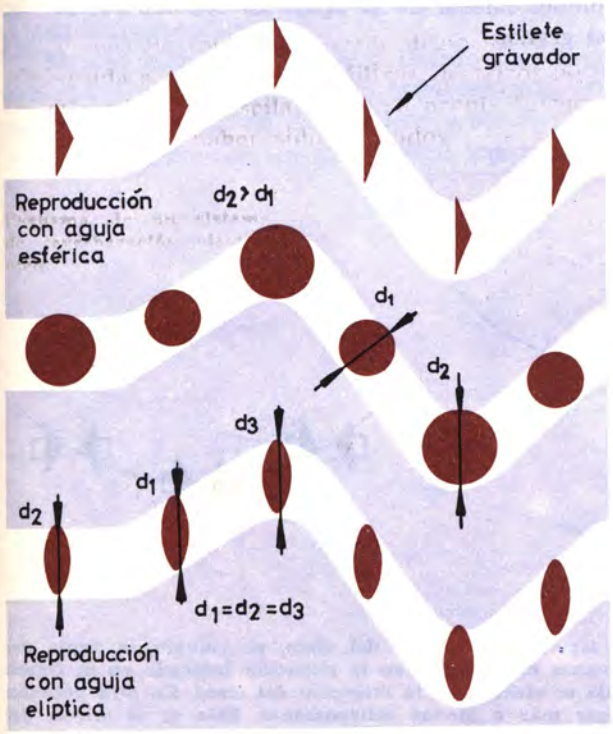
1. La debida a que los puntos de contacto entre la aguja y el surco son distintos de los que ha impresionado el estilete. Este tipo de distorsión se conoce en inglés con el nombre «inner groove distortion», lo que puede traducirse por «distorsión interna del surco».

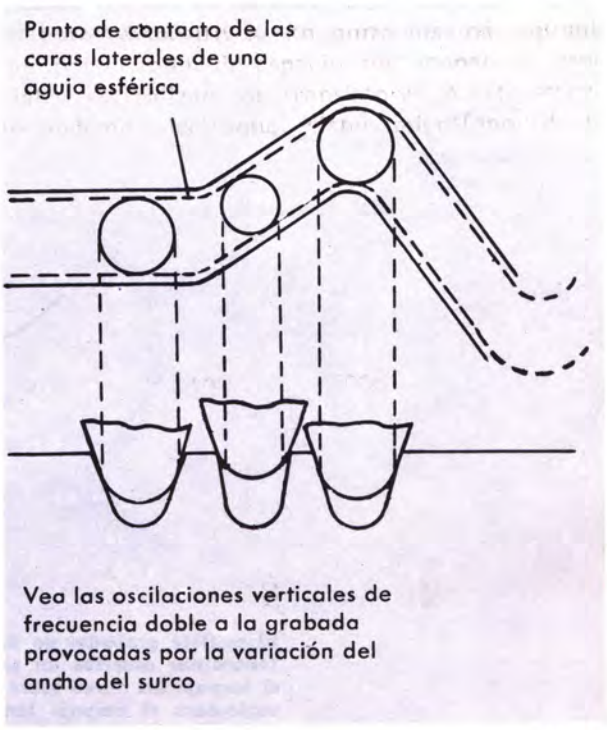
2. Cuando una aguja de cabeza esférica recorre este surco de anchura variable, penetra en él unas veces más y otras veces menos, comunicando a la cápsula un movimiento vertical que, si ésta es sensible a él, provoca la aparición de una onda de frecuencia doble que la grabada (pues en cada onda grabada hay dos alternancias entre el máximo y el mínimo del ancho del surco), y por tanto la presencia de una distorsión provocada por la aparición del segundo armónico.

Los dos defectos se atenúan empleando agujas de sección elíptica, cuya forma es más parecida al estilete grabador.

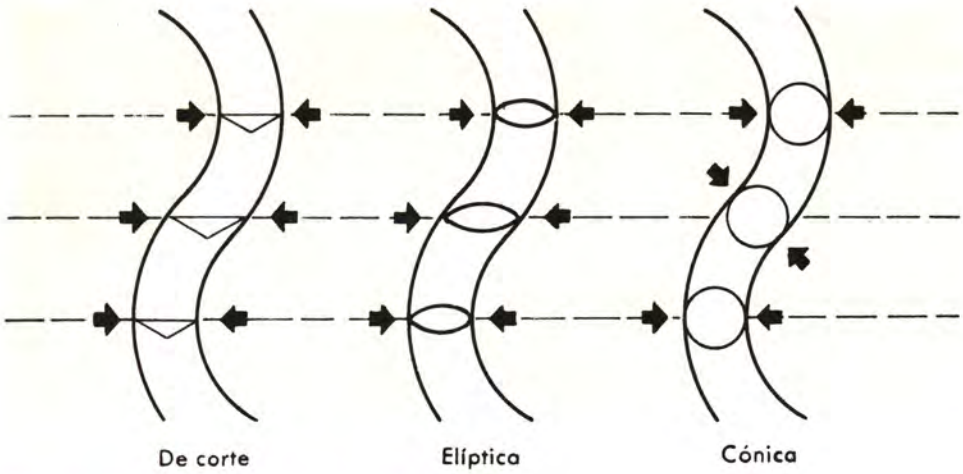


Aguja elíptica (cortesía Shure Brothers Inc.).





El grabado muestra el origen de la "distorsión interna del surco" (cortesía de Shure Brothers Inc.).



La aguja elíptica aproxima mucho mejor la forma del estilete de corte que la aguja cónica.

EL BRAZO FONOCAPTOR

El brazo del *pick-up,* hasta hace poco confinado a un papel aparentemente modesto dentro del conjunto del tocadiscos, se considera hoy como uno de los más importantes eslabones de una cadena de alta fidelidad.

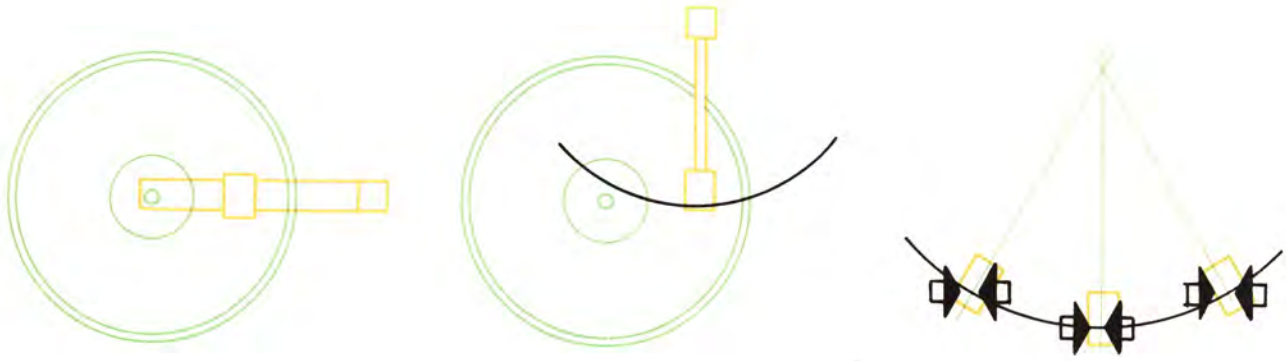
En un brazo fonocaptor hay que estudiar los siguientes fenómenos para poder juzgarlo en miras a su bondad para una reproducción en alta fidelidad: el error de pista, el empuje lateral, la perpendicularidad de la punta lectora y el equilibrado lateral.

Estudiaremos cada uno de ellos, considerando las posibles soluciones adoptadas para reducir los defectos que introducen.

ERROR DE PISTA

Este error se debe a la diferencia entre el desplazamiento lateral del fonocaptor y el desplazamiento lateral de la cabeza grabadora.

Como el disco está grabado en sentido radial, para que no existiera error el fonocaptor tendría que deslizarse por el disco siguiendo la misma línea. De esta manera el ángulo que forma la tangente al surco en el punto de lectura y el movimiento lateral de la aguja es constantemente de 90 grados.



El estilete grabador se desplaza siguiendo un radio del disco, en cambio, la aguja del fonocaptor describe un arco. A causa de ello sólo en la situación indicada en la figura el empuje del surco sobre la aguja se efectúa en la dirección del disco. En otra posición cualquiera el empuje tendrá lugar más o menos oblicuamente. Este es el origen del "error de pista".

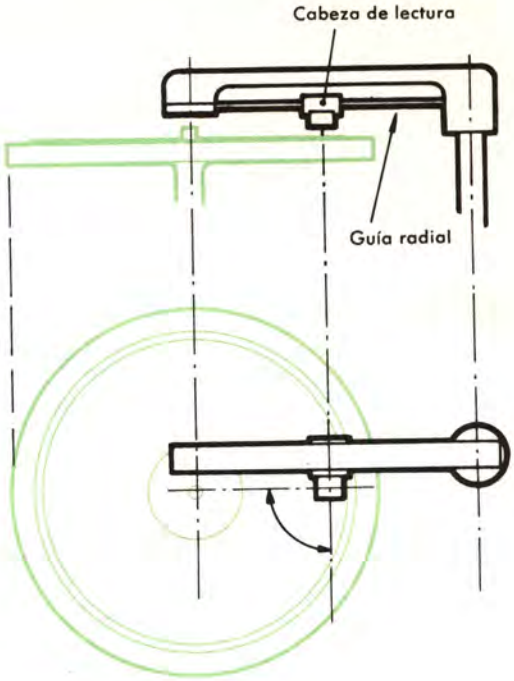
Un modo de obtener el desplazamiento lateral del fonocaptor a lo largo del radio del disco consistiría en disponer la cápsula fonocaptora en un brazo análogo al empleado en la grabación y hacer que la cápsula, con su soporte, se deslizara sobre guías radiales igual que como lo hacía la grabadora.

Otra solución consiste en emplear como brazo fonocaptor dos barras desiguales con una articulación que hace, a medida que avanza el brazo sobre el disco, variar el ángulo que forma el eje de la cápsula fonocaptora con el tangente al surco. En las figuras se representan esquemáticamente esos modelos.

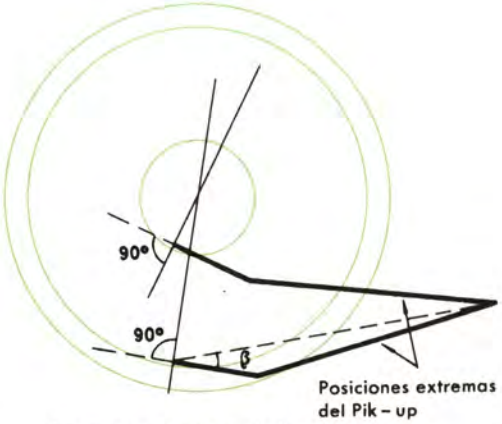
Sin embargo, y a pesar de sus ventajas, estos dos tipos de brazos raramente son utilizados, pues el esfuerzo que reclaman para su arrastre a la cabeza lectora es muy superior al de un brazo normal; además, la aguja oprime más una de las caras del surco que la otra, a menos que se tenga un especial cuidado en reducir al mínimo los rozamientos, lo que motiva un entretenimiento muy costoso y delicado de estos tipos de brazos.

En un brazo convencional la aguja no describe un radio en su recorrido a través del disco, sino un arco cuyo centro se halla en un punto *O* exterior al plato giradiscos. De este modo la perpendicularidad entre la tangente al surco y la tangente a la trayectoria de la aguja sólo tiene lugar en un punto; en todos los restantes existe un ángulo de error α tanto menor para una posición dada del disco cuanto mayor sea la longitud del brazo fonocaptor.

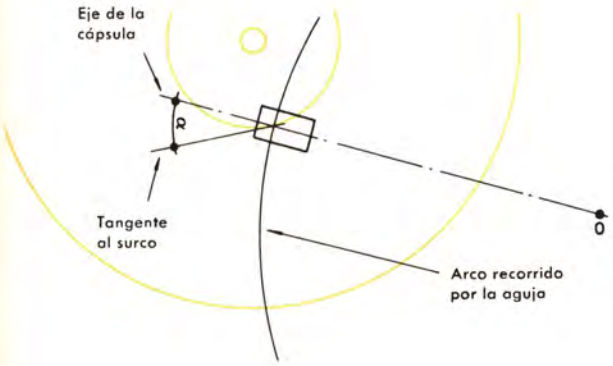
Pero si bien es verdad que cuanto más largo sea el brazo describe un arco cada vez más próximo a la trayectoria del estilete grabador, que es lo que queremos, es muy difícil lograr resul-

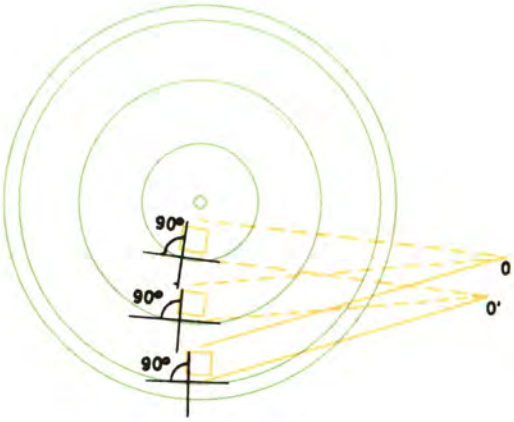


Pik-up tangencial



Pik-up con brazo acodado





Pik-up con articulación

tados satisfactorios con un brazo de gran longitud, por lo que se prefieren otros procedimientos para reducir el error de pista.

El procedimiento que habitualmente se emplea para disminuir el ángulo α es acodar el brazo por el extremo que soporta la cápsula en cierto ángulo β, de tal manera que el error de pista que se comete en las espirales finales del disco sea nulo, al igual que el error en las primeras; de no hacerlo así, teniendo en cuenta que la distorsión introducida por el error de pista es proporcional al cociente del ángulo de error de pista por el radio de la espira considerada, la distorsión en las últimas espiras sería considerable.

EMPUJE LATERAL

Al dar una curvatura al extremo del brazo se soluciona en parte el error de pista; pero como siempre ocurre, la propia resolución de un problema plantea otro. En este caso, el empuje lateral.

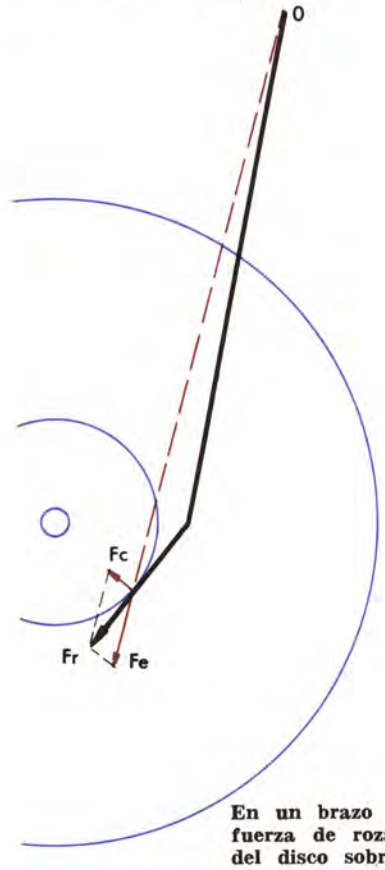
Por causa del frotamiento que ejerce la aguja sobre el surco del disco, aparece una fuerza de rozamiento F_R dirigida, como es lógico, según la tangente al surco.

Si no fuera curvado el extremo del brazo fonocaptor, tal fuerza quedaría compensada por la reacción del eje vertical del brazo sobre él mismo. Pero al estar curvado, la dirección de la reacción del eje no puede ser la del brazo, sino la de la recta que une el punto O de basculación con la aguja. Al hacer la descomposición de la fuerza F_R según esta dirección y la radial, existe una fuerza F_e aplicada al fonocaptor y dirigida hacia el centro del disco. Esta fuerza es la llamada de empuje lateral.

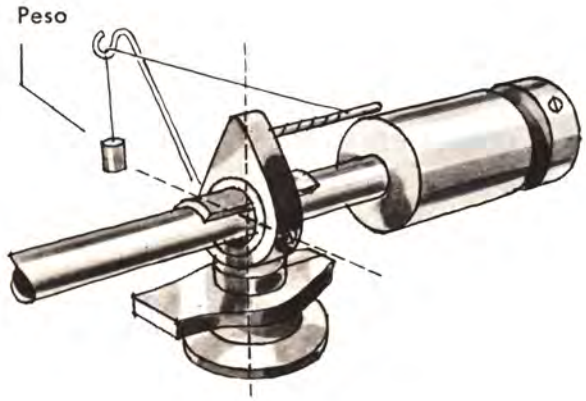
De no compensar esta fuerza, a pesar de ser muy pequeña, la aguja se apoya preferentemente en la parte lateral interior del surco, lo que da lugar a la existencia de un nuevo motivo de deformación del sonido.

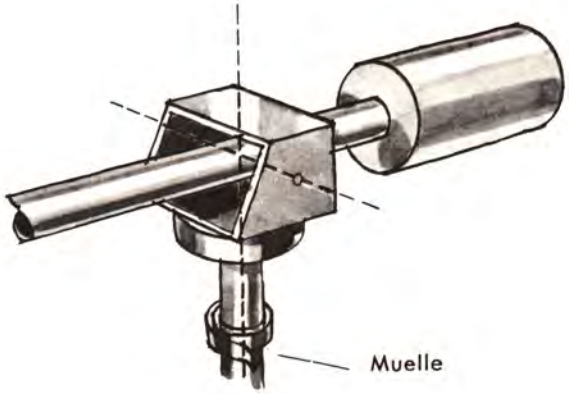
La solución exige la presencia de una fuerza F igual y de sentido contrario a F_e.

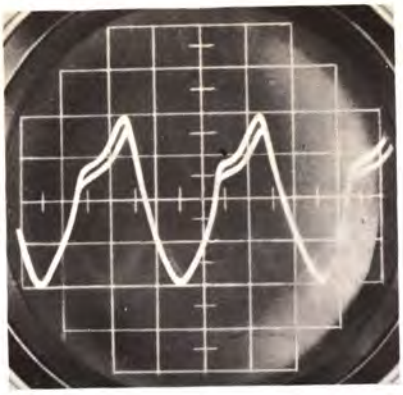
Esta fuerza puede conseguirse de diferentes maneras; algunas de ellas ilustradas en la figura.

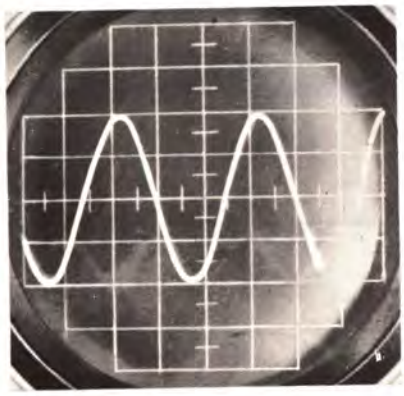


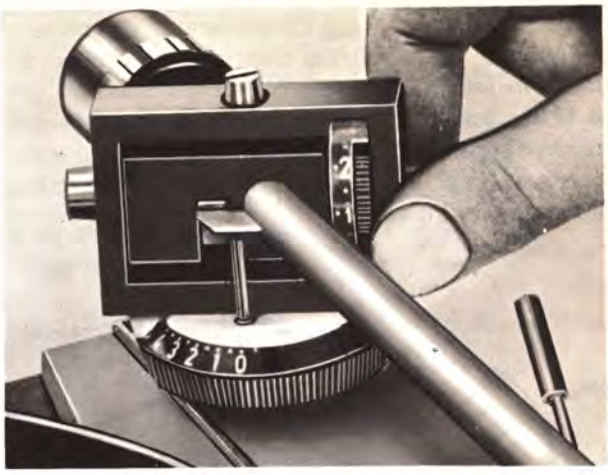
En un brazo acodado la fuerza de rozamiento F_r del disco sobre la aguja se descompone en una fuerza F_e, que es anulada por el pivote, y otra F_c llamada empuje lateral que tiende a oprimir la aguja contra la cara interior del surco.











Las fotografías de la izquierda dan una clara idea del grado de distorsión que puede provocar el empuje lateral. El oscilograma de la parte superior corresponde a la señal captada por un brazo sin dispositivo de corrección del empuje lateral. En la parte inferior queda indicado el resultado de haber añadido el mencionado dispositivo.
La fotografía de la derecha corresponde a un brazo en el que pueden apreciarse los controles de corrección del empuje lateral y de la presión de la aguja. (Documentación Dual.)

EQUILIBRADO LONGITUDINAL Y LATERAL DEL BRAZO

Normalmente, para que el disco pueda ser leído correctamente por el *pick-up*, el plato giradiscos debe estar colocado en posición horizontal, pues de lo contrario el brazo fonocaptor se desliza sobre el disco.

Existen, sin embargo brazos fonocaptores que son en principio capaces de efectuar la lectura de un disco cualquiera que sea el ángulo que éste forme con la horizontal, incluso si ese ángulo es de 90 grados; es decir, con el disco en posición vertical.

Ello se consigue equilibrando el brazo tanto con respecto al eje horizontal de giro (equilibrado longitudinal) como al eje vertical (equilibrado lateral).

El equilibrado longitudinal (respecto del eje horizontal) se consigue colocando una masa en la parte posterior del brazo, que llamaremos masa de equilibrado longitudinal, de manera que compense el peso de la cápsula colocada en la cabeza.

Los brazos para Hi-Fi están construidos de forma que puedan, a gusto del aficionado, equiparse con diversos tipos y marcas de cápsulas, que por supuesto no todas tienen el mismo peso. Por ello la masa de equilibrado se desliza, acercándose más o menos al eje, a fin de conseguir el equilibrio con cualquier cápsula.

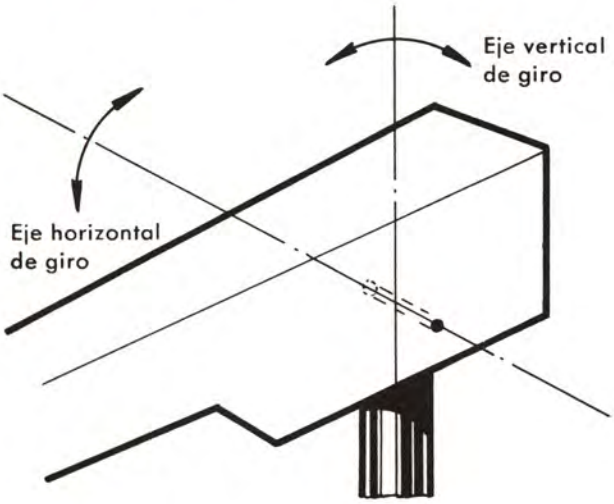
En estas circunstancias, claro es, la aguja no se mantiene por sí sola sobre el disco. Para conseguirlo el brazo está provisto de un muelle espiral (u otro mecanismo similar) que obliga a la aguja a ejercer la oportuna presión sobre el disco. Todos los brazos de categoría llevan un dispositivo para regular esa presión.

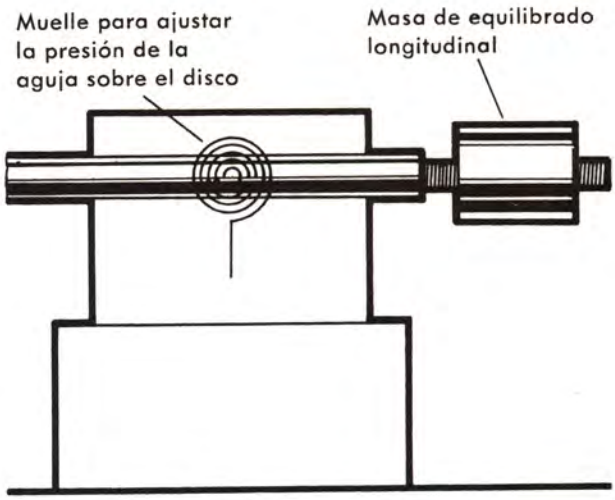
Si el brazo está equilibrado longitudinalmente, su centro de gravedad ha quedado situado sobre el eje horizontal. Si el brazo fuese recto una vez equilibrado longitudinalmente quedaría también equilibrado lateralmente, pues, como muestra la figura, el centro de gravedad estaría situado en el punto de intersección de los dos ejes de giro. Hemos visto, sin embargo, que para evitar el error de pista se acostumbra dar cierto ángulo a la cabeza, con lo que su masa queda desplazada lateralmente.

En estas condiciones el *equilibrado longitudinal* consigue situar el centro de gravedad sobre el eje horizontal, pero no sobre el vertical, de manera que un brazo de este tipo no conserva su equilibrio si la mesa giradiscos se sitúa vertical o simplemente se la inclina cierto grado.

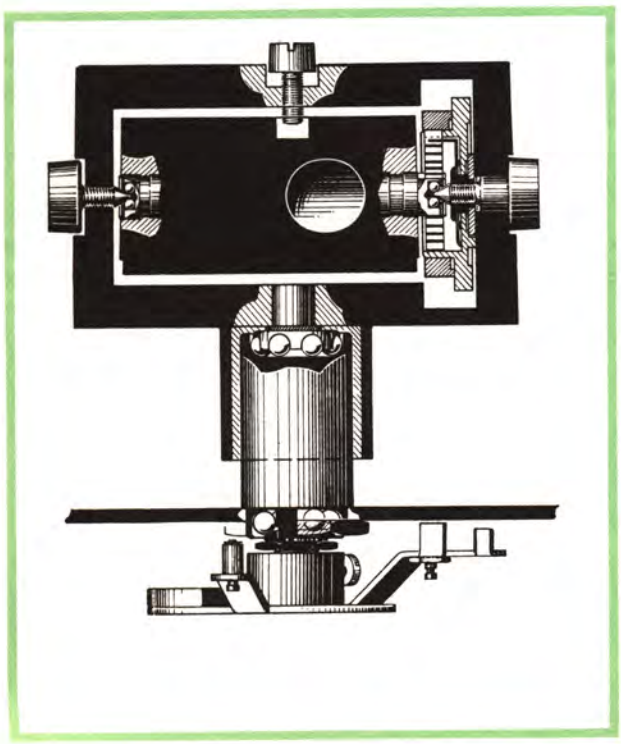
Para conseguir el equilibrio lateral de un brazo acodado se le añade una masa llamada de *equilibrio lateral*, que se sitúa desplazada del eje del brazo hacia el lado contrario al en que está situada la cabeza. La figura indica cómo se consigue así hacer coincidir el centro de gravedad sobre el eje vertical.

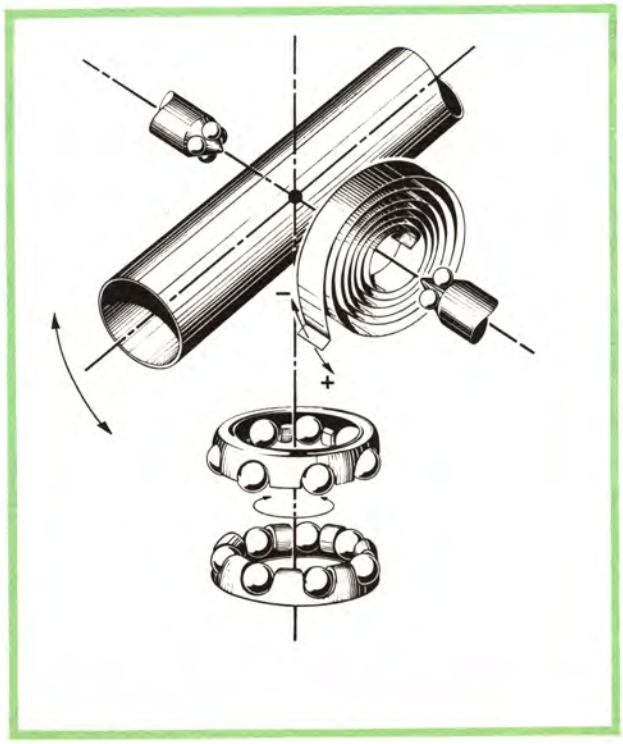
Este equilibrio total del brazo es buscado por todos los fabricantes de equipos lectores fonográficos; pero no precisamente para conseguir el efecto caprichoso de poder leer el disco en cualquier posición, sino para evitar una falta inadvertida en la horizontalidad del giradiscos, que influye en la calidad de la reproducción.





El brazo fonocaptor puede girar sobre sendos ejes tanto en un plano horizontal como en un plano vertical. En los brazos de calidad ambos ejes están provistos de cojinetes de bolas. Un muelle espiral permite regular la presión de la aguja sobre el disco.





c.d.g. de la masa de equilibrado

c.d.g. del brazo

c.d.g. de la cabeza

Brazo recto equilibrado

Masa de equilibrado longitudinal

c.d.g. del brazo

Eje de pivotamiento horizontal

Brazo acodado equilibrado longitudinalmente pero no lateralmente

c.d.g. de las dos masas de equilibrado

c.d.g. del brazo

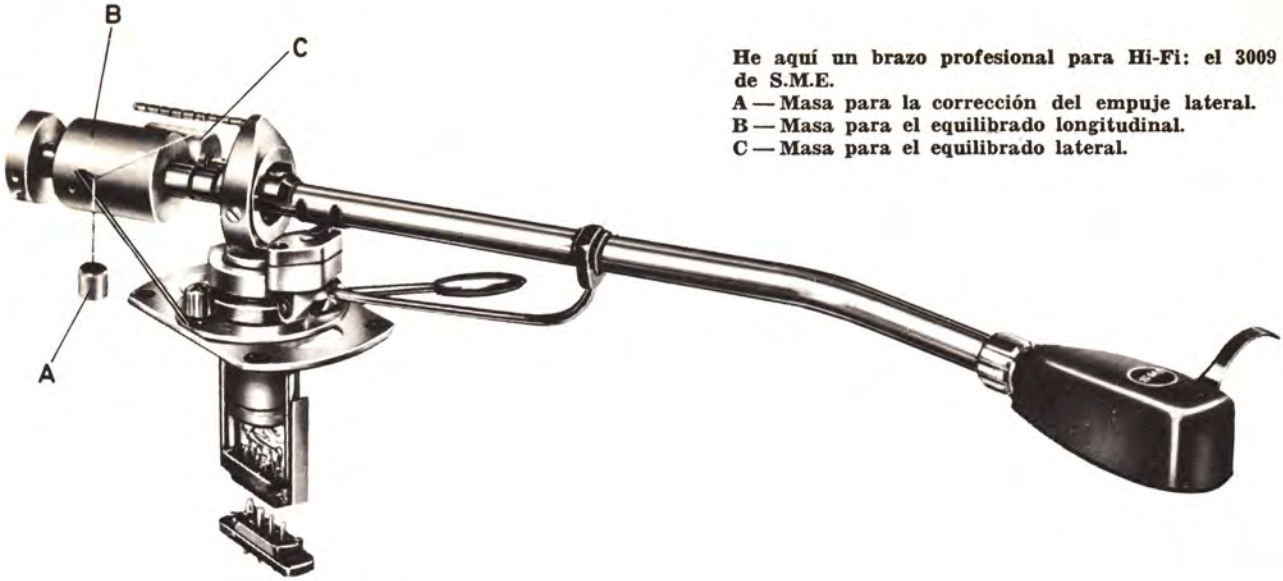
Masa de equilibrado lateral

Brazo acodado totalmente equilibrado

Brazo S.M.E. El equilibrio lateral se consigue mediante una masa auxiliar.

Brazo Grado. El equilibrado lateral se consigue mediante una masa auxiliar.

Brazo Dual. El equilibrabrado lateral se consigue porque parte del cabezal está desplazado hacia la derecha.



He aquí un brazo profesional para Hi-Fi: el 3009 de S.M.E.
A — Masa para la corrección del empuje lateral.
B — Masa para el equilibrado longitudinal.
C — Masa para el equilibrado lateral.

EL PLATO GIRADISCOS

El plato giradiscos es el último eslabón del tocadiscos que debemos estudiar; mas no creamos, por el orden que le ha correspondido, que es menos importante que los demás dispositivos.

Los requisitos que debe tener un plato giradiscos de calidad son en esencia los mismos que hemos exigido al plato de grabación; es decir, velocidad constante y potencia suficiente.

La constancia en la velocidad es uno de los factores más importantes de una buena mesa reproductora; puede oscilar entre límites que no rebasen el 1 por 100. El efecto de modulación que causa la falta de constancia en la velocidad recibe el nombre de «lloro».

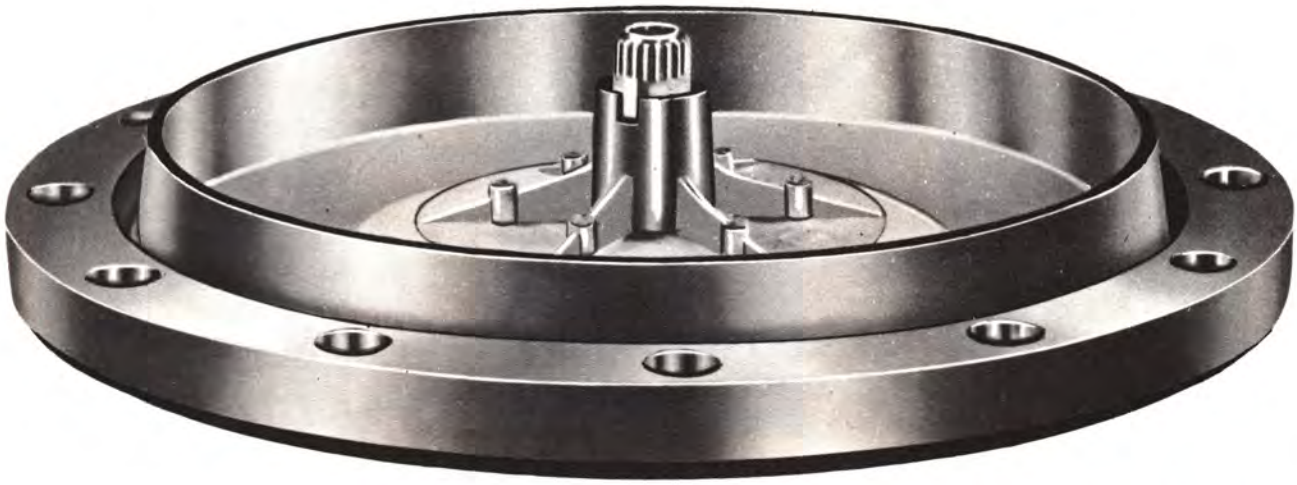
Algunos motores fonográficos de la variedad barata producen un «lloro» considerable a causa de que el par de torsión del motor no es constante con el desplazamiento angular del eje.

También puede ser causa de «lloro» un cambio en la característica de la red alimentadora.

Como hemos visto, la fluctuación de la velocidad puede proceder de la red alimentadora y del diseño del motor.

Son varias las soluciones adoptadas para mantener el valor de la velocidad entre los límites admisibles. Todas se basan, una vez obtenido un buen motor, en la forma de transmisión y en la inercia del plato.

En la mayor parte de los tocadiscos la transmisión se lleva a cabo por dispositivos de fricción. No se emplea la transmisión directa más que en un reducido número de aparatos con mo-



Para asegurar la constancia en la velocidad de giro debe utilizarse un plato pesado y grande (1009 de Dual).

tor de elaboración muy cuidada, suficiente potencia y requerimientos de aislamiento muy severos, lo que hacen que este tipo de mesas sea muy costoso y, por tal razón, que únicamente se destinen a fines profesionales.

Las transmisiones se realizan por medio de correas o de ruedas de caucho, con el fin de aprovechar la elasticidad de estos materiales para obtener un efecto regulador sobre la velocidad. Los tipos esenciales de transmisión pueden verse en la figura.

La masa del plato giradiscos es también factor a tener en cuenta para la obtención de una velocidad constante, pues actúa sobre el sistema giratorio con el mismo efecto que un volante de compensación; o sea que el peso del plato es también una característica importante del tocadiscos.

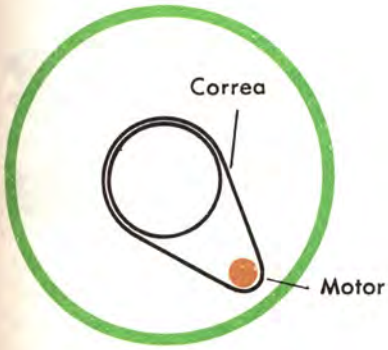
El peso del plato es muy diferente en los distintos modelos; sin embargo, para un buen tocadiscos no debe ser inferior a 2'5 kilogramos. Además del peso, son características importantes del plato su perfecta concentricidad y el material de que está fabricado, que no debe ser magnético.

Además de ser constante, la velocidad debe tener un valor fijo dado por las características de los discos reproducidos. Para los discos normales la velocidad es de 78 r.p.m.; para los microsurcos están normalizadas las 45, 33 1/3 y 16 2/3, si bien esta última no está muy extendida.

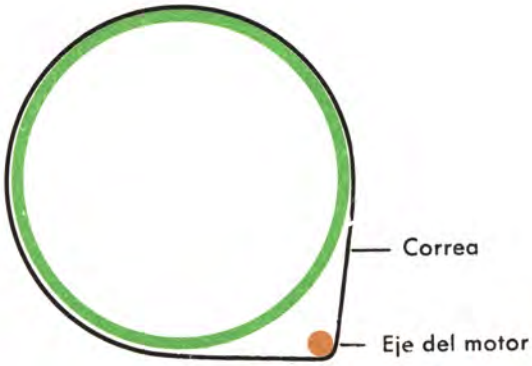
Arrastre directo sobre el eje

Arrastre por rueda de caucho unida directamente al eje del motor

Arrastre por rueda intermedia de caucho



Transmisión por correa sobre el eje



Transmisión por correa sobre la cara lateral del plato

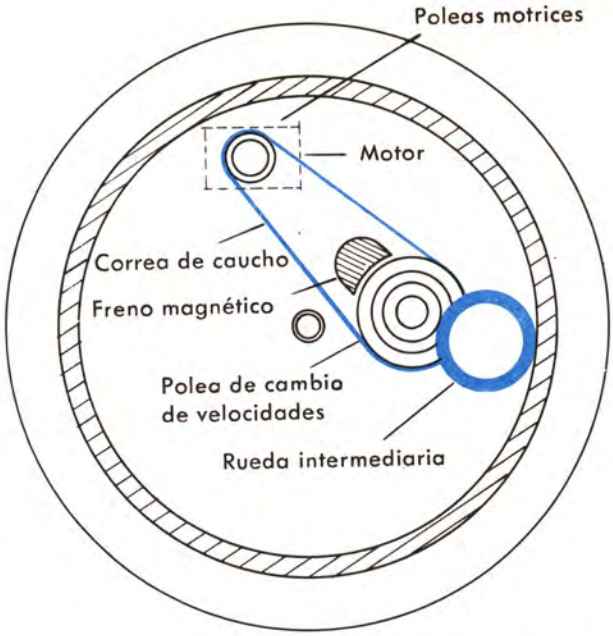
Eje motor en su zona de contacto con el elemento de transmisión para cambiar velocidades

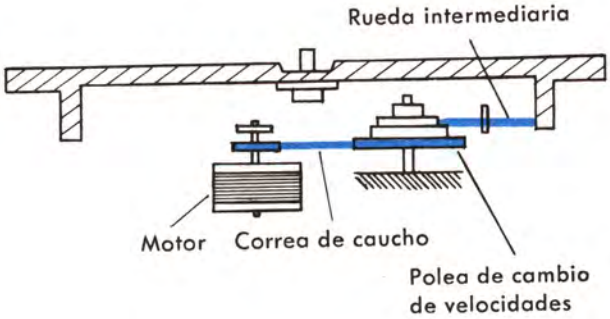
El sistema que generalmente se emplea para obtener el cambio en las velocidades consiste en dar al eje del motor diferentes radios a lo largo de su longitud y hacer resbalar la transmisión —sea correa, sea rueda de caucho— a lo largo del eje, poniéndola en contacto con las zonas de diferentes radios.

El mecanismo de arrastre del tocadiscos está impulsado por el motor, que en la inmensa mayoría de los casos está alimentado con corriente alterna. Como el *pick-up* acostumbra hallarse en el campo inductivo del motor, es muy fácil que se introduzca en la cápsula el zumbido procedente del motor, de una frecuencia igual a la de la red alimentadora.

Para eliminar este zumbido deben tenerse en cuenta el diseño del motor, la situación de cada una de las partes del tocadiscos, el material de que está formada cada una de ellas, el tipo de fonocaptor y el sistema de transmisión empleado.

Del plato giradiscos debe exigirse, pues: velocidad constante con fluctuación inferior al 1 por 100; selector de velocidades con cuatro posiciones correspondientes a 78, 45, 33 1/3 y 16 2/3 r.p.m.; masa del plato considerable; sistema de transmisión con elementos de caucho; ausencia de vibraciones y, finalmente, que la tensión de zumbido inducida sea inapreciable.





Como ejemplo de las diversas soluciones que se emplean para transmitir el giro del motor al plato aquí queda indicada la que utiliza el tocadiscos Thorens TD124-125.

La foto muestra un bello conjunto de tocadiscos. El giradiscos es el 301 de Garrard, el brazo el 3009 de S.M.E. y la cápsula fonocaptora M-47 de Shure provista de aguja elíptica.

CAMBIADISCOS AUTOMATICOS

Algunas mesas giradiscos están construidas de tal forma que automáticamente, una vez efectuada la lectura de un disco, inician la lectura de otro.

La forma más generalizada en que tiene lugar este proceso automático es la siguiente:

Los discos cuya lectura debe efectuarse están apilados a cierta altura sobre el plato y sostenidos por una prolongación del eje de aquél provista de unas uñas metálicas. Al finalizar la lectura de un disco, los últimos surcos obligan al brazo fonocaptor a desplazarse rápidamente hacia el centro. Este desplazamiento se utiliza, en los tocadiscos ordinarios, para accionar un interruptor que detiene el motor. En los tocadiscos automáticos, en cambio, el movimiento hace que se ponga en marcha un mecanismo que, en primer lugar, vuelve el brazo a su posición ordinaria de reposo y que a continuación retrae las uñas que mantienen en posición la pila de discos, dejando que caiga uno sólo sobre el plato. Finalmente, deposita otra vez el brazo sobre los primeros surcos de ese nuevo disco.

Es evidente que el automatismo en el funcionamiento hace mucho más cómoda y placentera la audición musical de obras cuya totalidad ocupa más de un disco.

Sin embargo, para que un tocadiscos automático pueda ser considerado como de Hi-Fi, dada la mayor dureza de trabajo de su mecanismo, debe estar fabricado con gran precisión. Sólo un número no demasiado grande de los existentes en el mercado puede considerarse como verdaderamente de Hi-Fi, por lo menos desde el punto de vista profesional.

Entre éstos podemos citar el LAB-80 de Garrard, el 1009 de Dual, el TD224 de Thorens, etc.

En los cambiadiscos automáticos, la circunstancia de que los discos vayan apilándose sobre el plato hace que la punta lectora descanse cada vez a mayor altura.

Esto puede ser un motivo de distorsión, pues el plano que determinan la aguja y el eje longitudinal del cabezal, *que debe ser perpendicular al disco*, toma diversas indicaciones a medida que varía el número de discos leídos.

Estas variaciones de inclinación del mencionado plano se deben al ángulo que se da al cabezal (con respecto al brazo) para evitar el error de pista.

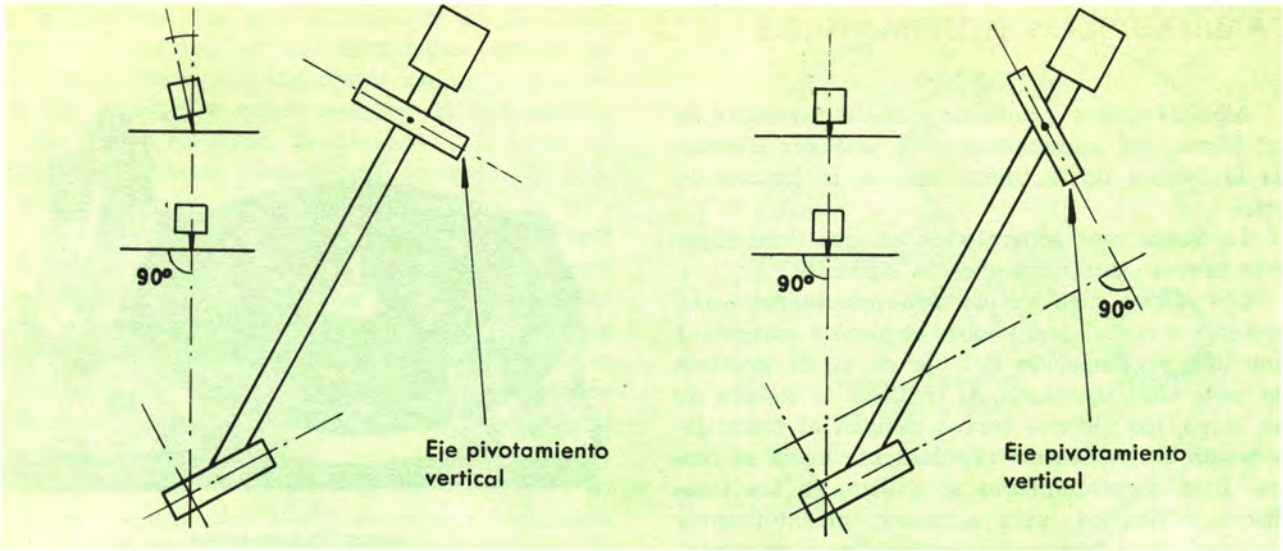
Se puede eliminar las variaciones de inclinación del plano de la aguja, y la distorsión consiguiente, construyendo el brazo de forma que el eje horizontal sea perpendicular al plano de la aguja, en lugar de serlo al brazo como en los modelos ordinarios.

Esta es la solución que ha utilizado Dual en su modelo 1009.

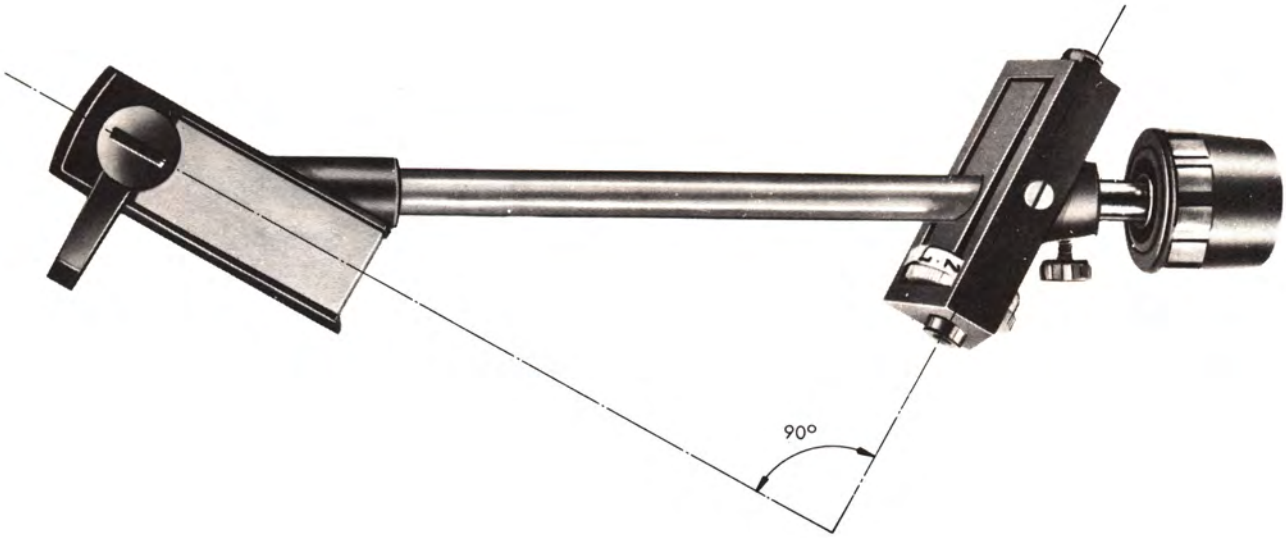
Otros tocadiscos automáticos, por ejemplo el TD224 Thorens, no precisan esa corrección, pues el mecanismo de cambio automático está concebido de tal forma que nunca hay más de un disco sobre el plato.

El tocadiscos automático 1009 de Dual puede considerarse como típico en su género. Al pie de la fotografía aparece el eje largo que debe utilizarse, en lugar del corto con que aparece provisto, cuando haya de funcionar automáticamente.

Los discos cuya lectura se ha de efectuar quedan apilados en la parte superior del eje retenidos por un par de uñas que los seleccionan uno a uno.



A fin de evitar que la aguja incida oblicuamente sobre el disco cuando hay más de uno sobre el plato, el eje de pivotamiento vertical debe ser perpendicular al eje del cabezal y no al brazo.

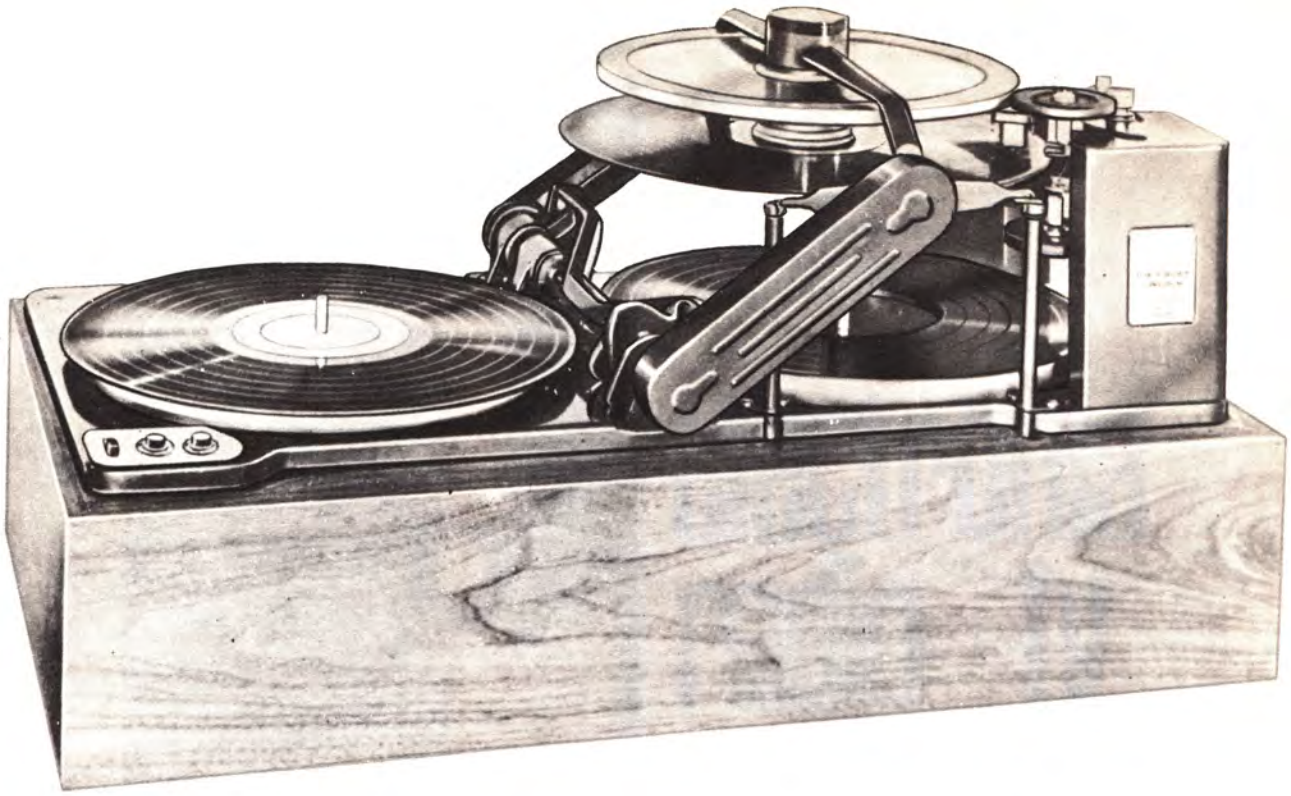


En esta fotografía del brazo del 1009 se aprecia claramente la perpendicular entre el eje de pivotamiento vertical y el cabezal.

Desde luego en todos los modelos el funcionamiento automático se consigue a costa de una complicación mecánica más que regular.

Como consecuencia, en estos modelos, resulta bastante más difícil cumplir con las especificaciones de Hi-Fi que en los modelos simples.

Para salvar esa dificultad en los cambiadiscos automáticos más modernos, entre ellos el citado 1009 de Dual, es posible desembragar a voluntad los mecanismos que permiten el funcionamiento automático quedando así el aparato convertido en una mesa de lectura de accionamiento manual;



Una de las realizaciones más avanzadas por lo que a cambiadiscos automáticos se refiere es la del The Fisher-Lincoln M-70. Es capaz de proporcionar unas ocho horas de música ininterrumpidamente. Lee, una tras otra, ambas caras del disco.

pero cuyas características en cuanto a constancia de velocidad y suavidad de funcionamiento pueden considerarse totalmente profesionales.

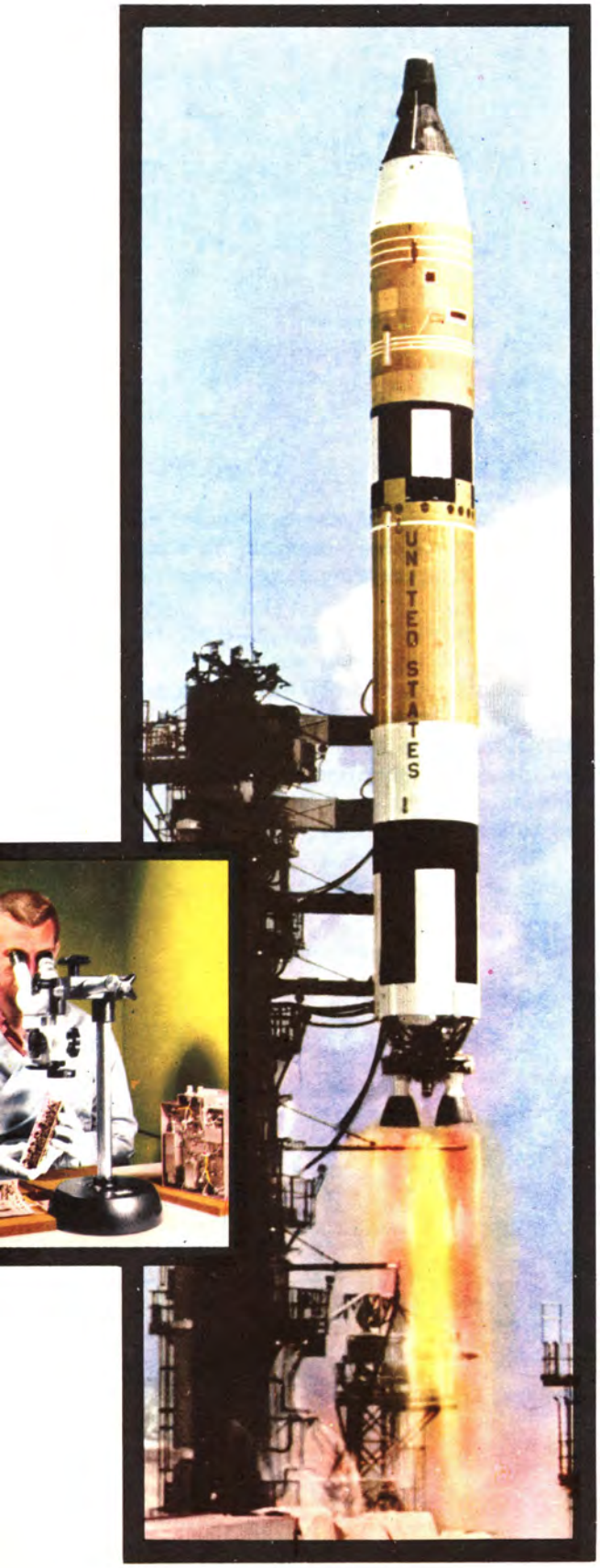
Especialmente digno de mención es el tocadiscos The Fisher-Lincoln M-70, que bajo una apariencia exterior un tanto sorprendente reúne una serie de cualidades verdaderamente notables, siendo tal vez la más llamativa el hecho de que sea capaz de efectuar automáticamente la lectura de ambas caras del disco.

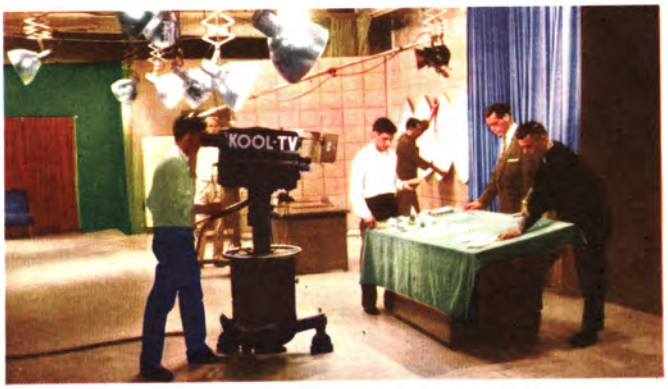
* * *

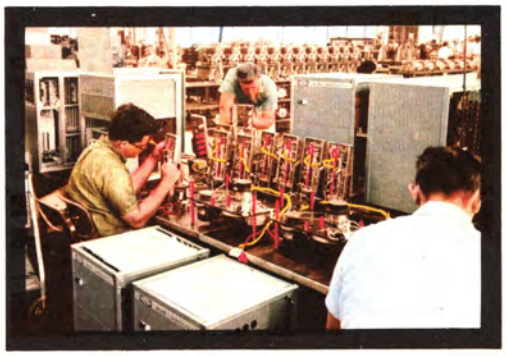
LECCION 46

Magnetófonos
Cabezas magnéticas
Sistemas de arrastre
Respuesta en frecuencia de un magnetofón
Sintonizadores de alta fidelidad
Circuitos especiales

electronia radio + tv







MAGNETOFONOS SINTONIZADORES AM-FM

MAGNETOFONOS

Las cintas magnéticas pueden constituir también una fuente de programa, junto con los mecanismos correspondientes para su grabado y reproducción.

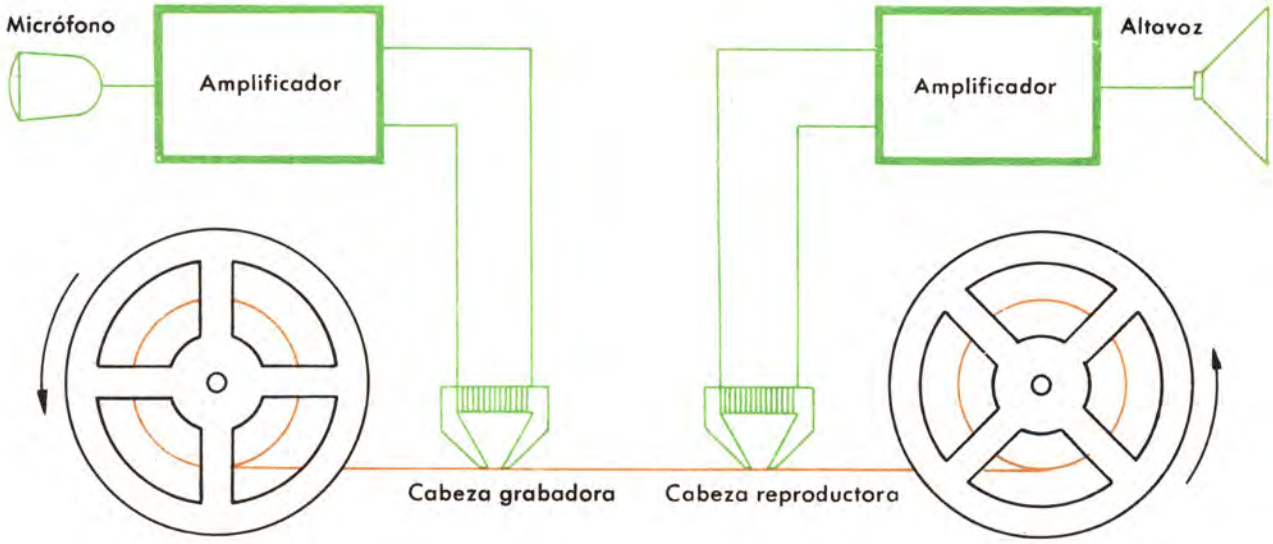
Aunque el registro magnético data de casi ochenta años, hasta hace pocos no ha resuelto los problemas de la limitación de frecuencias reproducibles y buena relación señal-ruido.

Actualmente estas deficiencias no constituyen un obstáculo, pues se ha perfeccionado hasta el punto de que los otros métodos de reproducción sonora emplean en algún punto de su registro la grabación magnética.

No debe creerse, a pesar de ello, que la cinta magnética sea un sistema al servicio exclusivo de la reproducción sonora, pues además de formar parte de los equipos de alta fidelidad tiene numerosas aplicaciones: grabar imágenes de radar y TV, órganos de memoria en las máquinas matemáticas (calculadoras), registro de señales procedentes de aeronaves, registro y reproducción de imágenes a gran distancia (satélites), etc.

En vista de este inmenso número de aplicaciones, no es de extrañar el interés mostrado estos últimos años en alcanzar una buena grabación magnética.

El proceso básico de grabación y reproducción está indicado en la figura.



Síntesis de los procesos de grabación y reproducción mediante cinta magnética.

La señal eléctrica que se pretende grabar se aplica a una bobina provista de un núcleo de hierro cuyos polos están separados por un entrehierro muy pequeño. La cinta, arrastrada por un motor, se desliza frente a ese entrehierro y queda magnetizada de acuerdo con la señal aplicada a la bobina.

Para reproducir la señal se hace pasar la cinta, a la misma velocidad, junto a una bobina análoga a la que se utiliza para la grabación. Con ello se crea un flujo variable a través de esta bobina, en la que aparece como una tensión inducida que es reproducción de la que ha servido para grabar.

Las dos bobinas indicadas reciben los nombres respectivos de *cabeza grabadora* y *cabeza reproductora*.

Para hacer un estudio más detallado de la cuestión conviene que digamos algo acerca de las propiedades magnéticas de los materiales.

PROPIEDADES MAGNETICAS DE LOS MATERIALES

Todos sabemos que un imán es un material que tiene la propiedad de atraer a los metales magnéticos que se encuentran cercanos.

Podemos darnos cuenta de que el poder de atracción de todo imán está concentrado en sus extremos, a los cuales llamamos polos. Todo imán, naturalmente, tiene dos polos, a los que denominamos polo norte y polo sur.

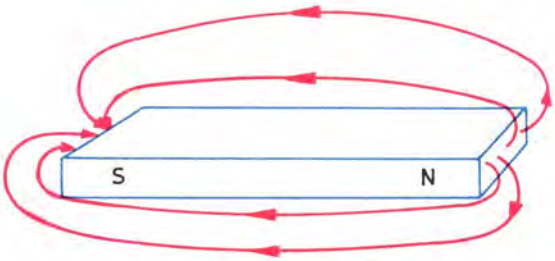
Al disponer dos imanes en puntos lo suficiente próximos como para que el campo creado por uno de ellos alcance al otro, comprobaremos que se atraen, pero con una particularidad: que el polo norte de uno atrae siempre al polo sur del otro y nunca al norte. Si se le aproxima este polo, lo repele, experiencia que nos permite afirmar: los polos del mismo nombre de dos imanes se repelen, mientras que los de nombre contrario se atraen.

Todo imán crea un flujo magnético que se puede representar por medio de líneas, a las que denominamos líneas de fuerza. (Recuerde la lección 10.) Decimos que existe un campo magnético en la región del espacio adonde estas líneas llegan, y en todos sus puntos se notarán las acciones magnéticas del imán. Por tanto, que exista un campo magnético en un conjunto de puntos situados en una determinada región del espacio no significa otra cosa sino que en todos esos puntos pueden manifestarse acciones magnéticas. El sentido de las líneas de fuerza magnética es tal que entran en el imán por el polo sur y salen por el norte.

Hasta el momento sólo hemos hablado de cómo se manifiestan las acciones de los imanes mediante la creación de campos magnéticos, prescindiendo de la naturaleza de estos imanes.

El material que constituye el imán puede tener las propiedades magnéticas explicadas, sea de por sí o bien por haberlas adquirido por medio de algún tratamiento que se haya efectuado en él. En el primer caso se trata de un imán natural y en el segundo de un imán artificial.

Sólo nos interesa el segundo de estos dos tipos de imanes, y éste es el que aquí estudiaremos.



En un imán las líneas de fuerza parten del polo norte y penetran en el polo sur.

IMANES ARTIFICIALES

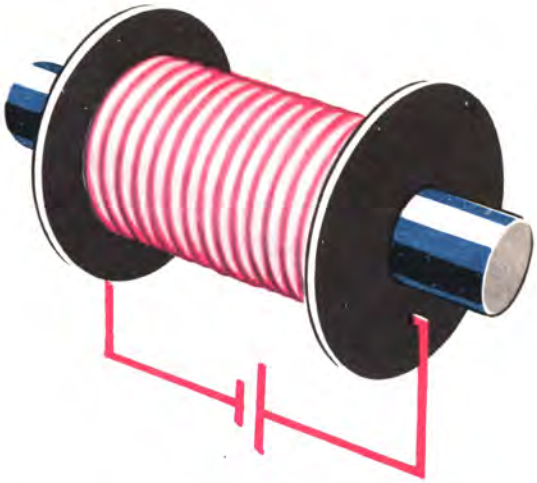
Es sabido que hay metales que adquieren propiedades magnéticas cuando están introducidos en un solenoide recorrido por una corriente eléctrica.

Dentro de ciertos límites, la intensidad del campo magnético creado en estas condiciones es proporcional a la intensidad de la corriente eléctrica. Tiene especial interés para nosotros poner de manifiesto que si cesa la corriente que circula a través del solenoide el campo magnético no se anula por completo, sino que persiste con un valor mayor o menor, según cuál haya sido la intensidad de la corriente que circula por el solenoide y también según cuál sea el tipo de metal

empleado en la experiencia de que tratamos ahora.

Resulta, pues, que un metal que inicialmente no gozaba de propiedades magnéticas puede adquirirlas por efecto de una corriente eléctrica; y que incluso una vez que la corriente ha cesado las propiedades magnéticas, aunque en menor grado, permanecen; es decir, son remanentes.

El metal se ha convertido, pues, en un imán artificial.



Una forma de obtener imanes artificiales es someter un cuerpo metálico al campo creado por un solenoide.

CURVA DE MAGNETISMO REMANENTE

Es interesante estudiar la relación que existe entre la intensidad del magnetismo remanente y la intensidad de la corriente que lo ha provocado.

Para ello puede servirnos un dispositivo como el que muestra la figura. Es decir, añadiendo un reóstato y un amperímetro al circuito formado por el solenoide y la pila.

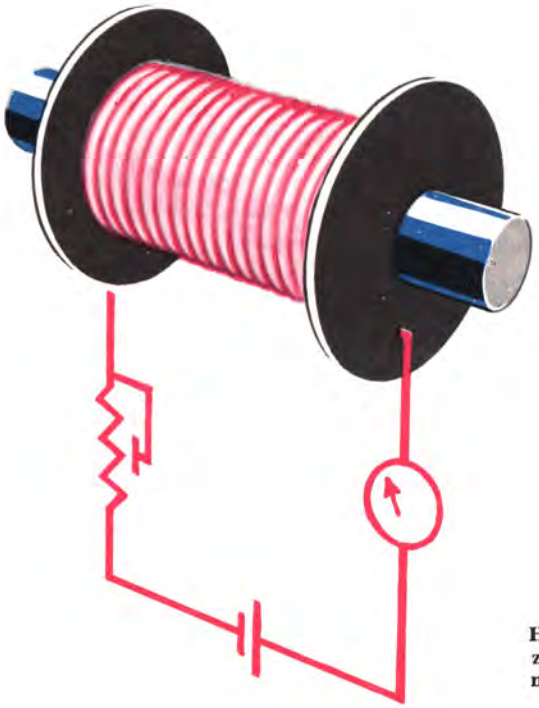
Para empezar se ajusta, mediante el reóstato, la intensidad a un valor determinado; 100 mA por ejemplo.

A continuación se extrae el trozo de metal del interior del solenoide, con lo que se consigue el mismo efecto que si se hubiese cortado la corriente.

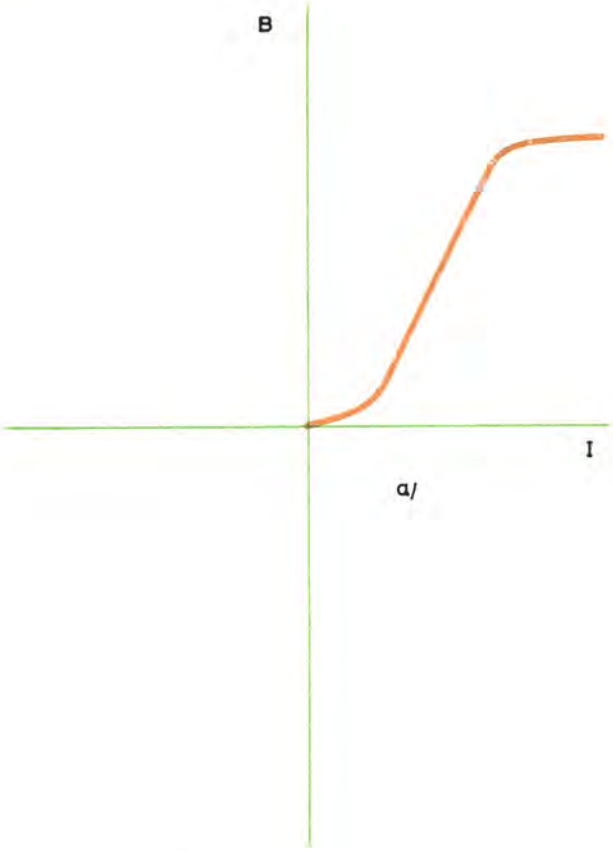
El valor del magnetismo remanente puede estimarse por medio de una balanza, en uno de cuyos platillos se colocan pesas que equilibren la fuerza con que el imán atraiga al otro (suponiendo, claro, que sea de naturaleza magnética).

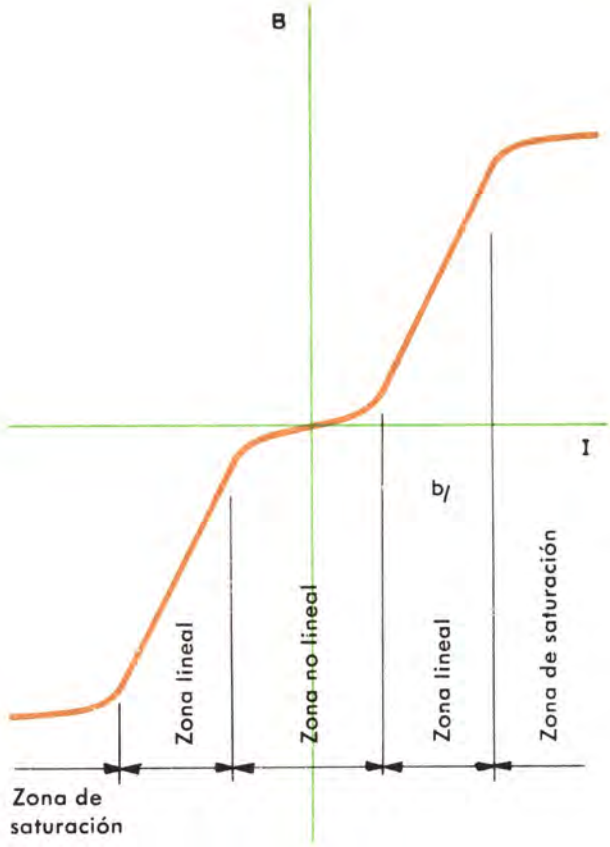
Se introduce de nuevo en el solenoide el trozo de metal en estudio y se aumenta la intensidad hasta 200 mA. Nuevamente se saca el metal del solenoide y se comprueba con la balanza el aumento de magnetismo remanente.

Se repite el proceso tantas veces como convenga. Así se obtiene una relación entre el magnetismo remanente B y la intensidad I que lo ha originado, cuya expresión gráfica está indicada en la figura *a)*.



Haciendo circular por la bobina una intensidad determinada, la pieza metálica adquirirá un cierto magnetismo remanente que podemos medir con la balanza.





Si se invierte la pila —con la que la corriente circula en sentido contrario— el metal se magnetiza en sentido contrario; es decir, donde antes aparecía un polo norte aparece ahora un polo sur y viceversa.

Por lo demás, la relación entre B e I tiene exactamente el mismo aspecto que en el caso anterior. La figura *b*) ilustra la relación entre B e I cuando se tienen en cuenta los dos sentidos en que puede circular la corriente.

La curva de la figura *b)* presenta:

1. Dos zonas, llamadas de saturación, en las cuales no se consiguen aumentos en el valor del magnetismo remanente por más que se aumente la intensidad S.
2. Dos zonas lineales, en que a los aumentos de la corriente I corresponden aumentos proporcionales del magnetismo remanente B.
3. Una zona no lineal en que los aumentos de I y los de B no son proporcionales.

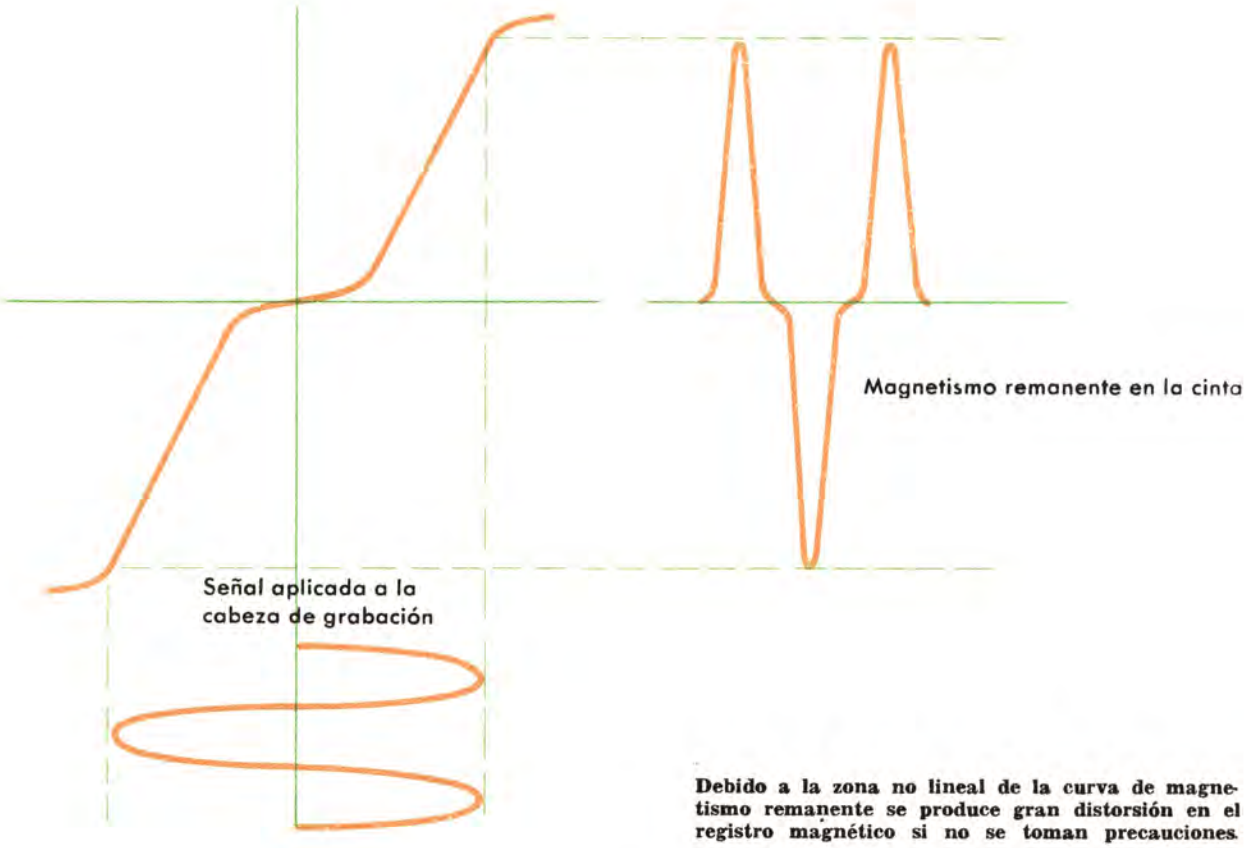
GRABACION SOBRE CINTA MAGNETICA

Con las nociones anteriores podemos profundizar un poco más en los fenómenos que tienen lugar durante la grabación en cinta magnética.

Supongamos que se aplica una corriente variable a la bobina de la cabeza grabadora. En un instante determinado un pequeño trozo de la cinta está situado frente al entrehierro de la cabeza; trozo que queda sometido al campo magnético que *en ese instante* crea la corriente variable que circula por la bobina.

Un instante después el trozo de cinta se ha alejado del entrehierro; en él queda un magnetismo remanente que depende del valor que tenía la corriente en el instante anterior. Evidentemente, está situado ahora frente al entrehierro un nuevo trozo de cinta sometido a un campo magnético de distinta intensidad, pues también es distinto ahora el valor de la corriente.

Este es, en principio, el fundamento de la grabación magnética. Decimos en principio porque si se efectuase sin más preocupaciones el registro presentaría una gran distorsión a causa de la zona no lineal de la relación entre magnetismo remanente e intensidad de la señal. La figura adjunta es suficientemente explícita a este respecto.



Debido a la zona no lineal de la curva de magnetismo remanente se produce gran distorsión en el registro magnético si no se toman precauciones.

Existen dos formas de eliminar este inconveniente; en ambas se procura hacer trabajar a la cinta en la región lineal únicamente.

Una forma consiste en añadir a la corriente variable que constituye la señal una corriente de intensidad constante llamada de polarización. En ausencia de señal la cinta, después de pasar ante la cabeza grabadora, tiene un magnetismo remanente correspondiente al centro de la región lineal; cuando la señal no es nula las variaciones tienen lugar dentro de esa región y por tanto no se produce distorsión.

Este procedimiento, hoy en día en desuso, presenta diversos inconvenientes que perjudican la calidad global del registro.

En el segundo procedimiento la corriente de polarización no es continua, sino alterna, de una frecuencia que puede estar comprendida entre 70 y los 100 Kc/s.

La amplitud de esa corriente es tal que sus picos corresponden al centro de las regiones lineales.

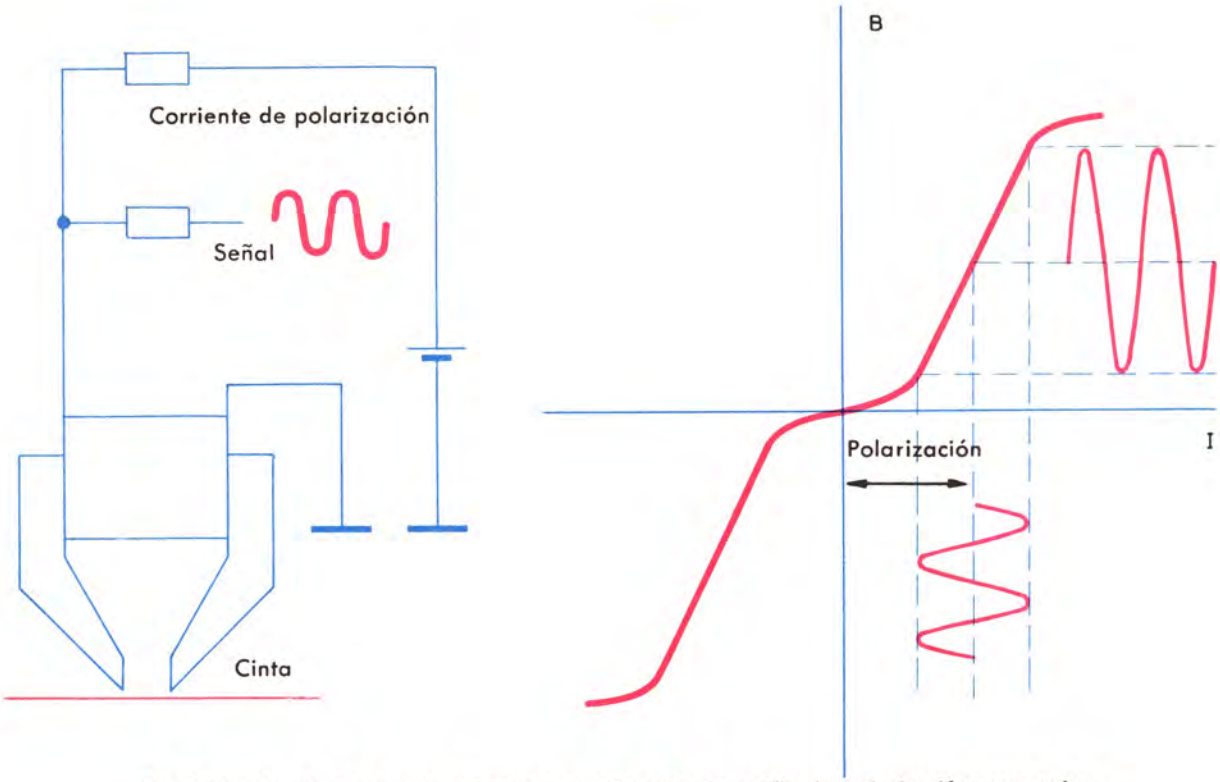
Al superponer a la corriente de polarización la señal que se pretende grabar los picos se desplazan a lo largo de las regiones lineales siguiendo las variaciones de intensidad de la señal.

La figura indica que lo que se ha grabado en la cinta no es precisamente la señal; pero, eso sí, los picos de la información grabada experimentan variaciones que «dibujan» la forma de la señal.

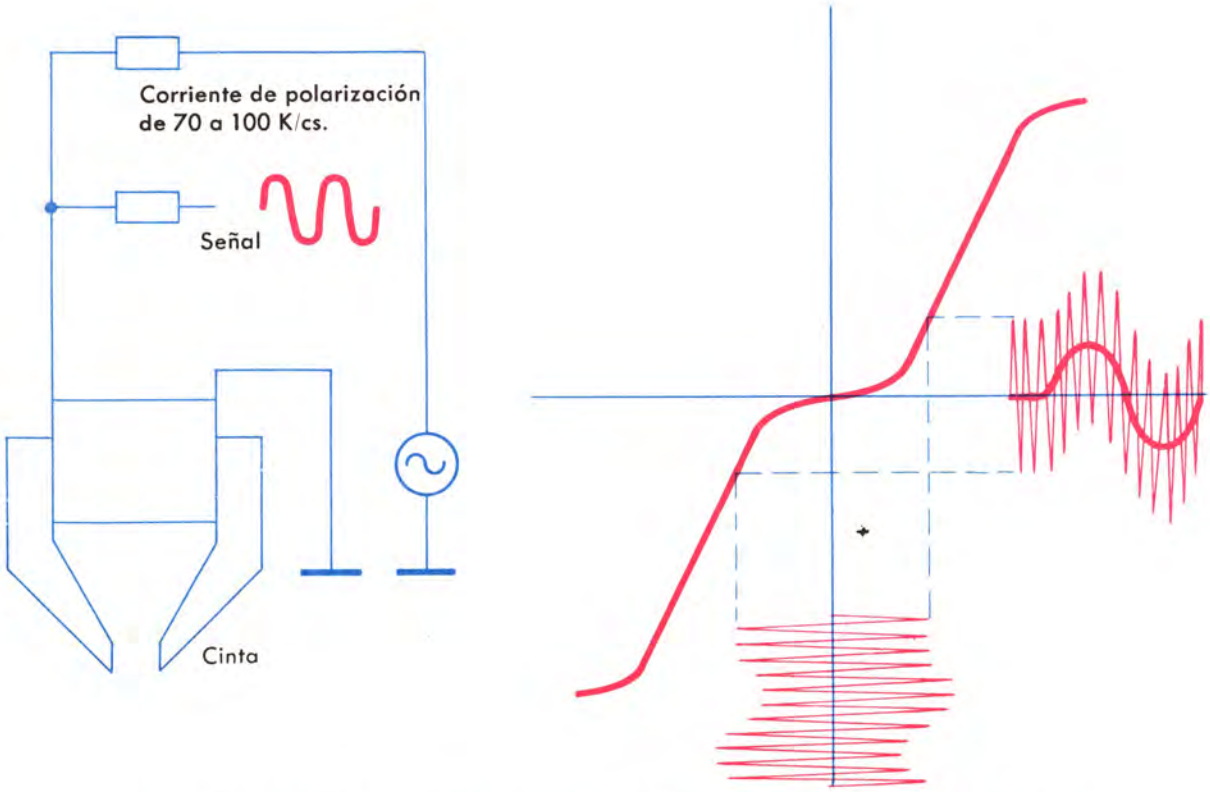
Cuando la cinta pasa frente a la cabeza reproductora la tensión que aparece en ella es fiel reflejo de lo que está grabado en la cinta.

Naturalmente, para reproducir en el altavoz la señal de B.F. hay que separarla de la polarización de A.F.

Puede parecer en principio que esto requiere un proceso de detección y filtrado; pero ello no es así, pues en nuestro caso no ha habido modulación de la corriente de polarización por la señal de B.F. sino únicamente superposición entre las dos. Por ello la señal que suministra la cabeza reproductora es alterna de valor medio no nulo (observe que los picos positivos y negativos tienen áreas distintas); basta con filtrar esa señal para obtener su valor medio, que precisamente es la señal de B.F.



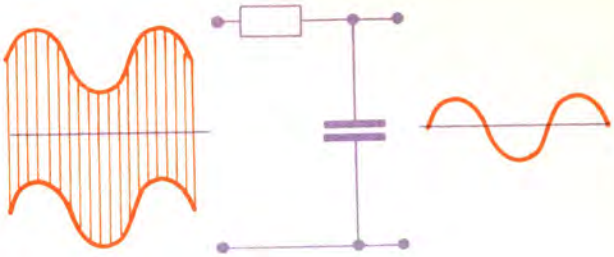
La distorsión en el registro magnético puede evitarse mediante polarización con corriente continua. La cinta trabaja entonces en una de las zonas lineales de la curva de magnetismo remanente.



Otra forma de evitar la distorsión ocasionada por la zona no lineal de la curva de magnetismo remanente es utilizar para la polarización una corriente de alta frecuencia que se mezcla con la señal.

Este segundo procedimiento de polarización es el más empleado hoy en día para la grabación en cinta magnética.

Basta filtrar la señal obtenida en la cabeza de reproducción para obtener la componente de B.F.



REPRODUCCION

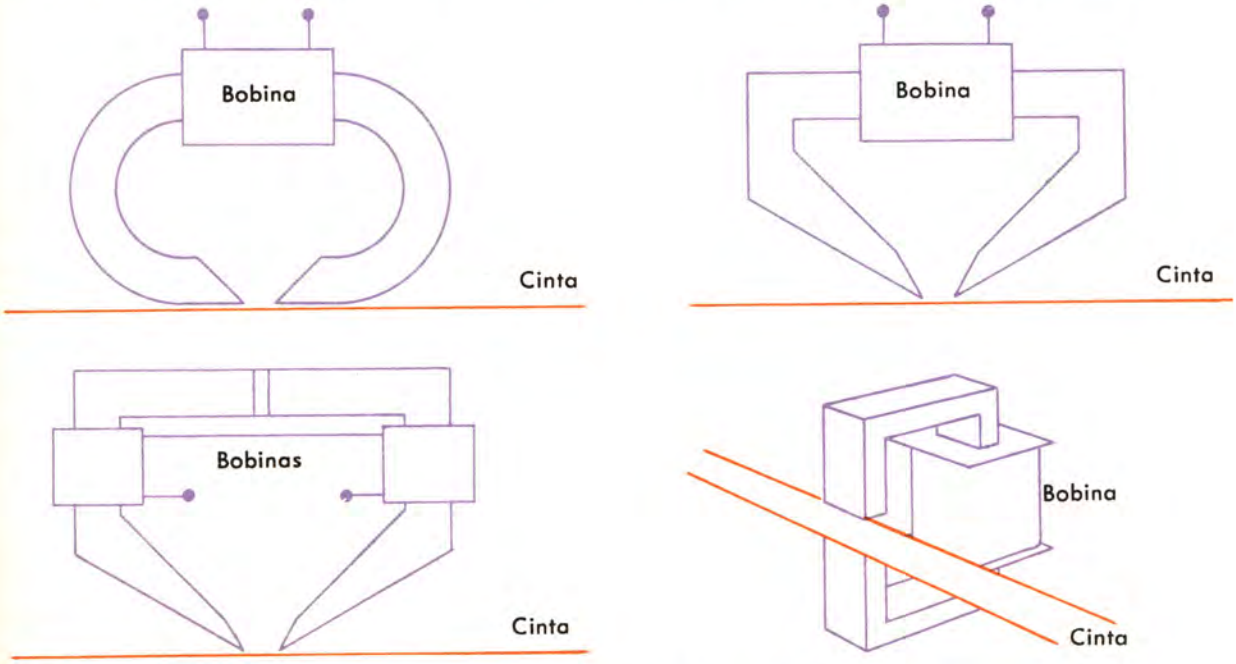
Si se quiere reproducir la información grabada en la cinta basta con hacerla pasar frente a una cabeza de estructura análoga a la de grabación (en muchos magnetofones es la misma). El magnetismo de intensidad variable remanente en la cinta crea, cuando ésta pasa por el entrehierro de la cabeza de reproducción, un flujo variable, con lo que en la bobina correspondiente se induce una tensión que reproduce la señal que se ha grabado.

CABEZAS MAGNETICAS

A lo largo del desarrollo de la técnica de grabación magnética se han empleado diferentes tipos de cabezas, que últimamente han ido a parar a la cabeza anular, hoy mundialmente adoptada.

Las cabezas actuales están constituidas por un núcleo y una bobina —dos a veces—; el conjunto está recubierto de materia plástica.

En los magnetofonos de uso profesional, en los que el imperativo no es generalmente el precio sino la calidad, hay tres cabezas; una para registro, otra para reproducción y una tercera para borrado. En los magnetofonos de uso doméstico el número de cabezas por lo general queda reducido a dos combinando en una de ellas las operaciones de registro y reproducción. Existen también, aunque son excepciones, magnetofones con una sola cabeza en la que se llevan a cabo todas las operaciones que puedan pedirse al aparato.



Tipos de cabezas magnéticas. La constitución básica es idéntica para las cabezas destinadas a registro, reproducción o borrado.

Cabeza de registro

Los requisitos que debe cumplir una buena cabeza grabadora son:

1. Debe tener el mínimo magnetismo remanente que sea posible. Es de desear en todos los casos respuesta lineal entre la intensidad de campo B en ella y la corriente en las bobinas.

2. Las pérdidas por corrientes parásitas deben reducirse a un mínimo y estar compensadas en lo posible para que sean independientes de la frecuencia.

3. La frecuencia propia de resonancia de la cabeza ha de ser superior a la frecuencia más elevada que deba reproducirse. Lo ideal es que sea más elevada que la frecuencia de la corriente de polarización.

4. Debe mantener un contacto uniforme con la cinta.

5. La cabeza debe apantallarse de forma que no influya en ella ningún campo parásito que accidentalmente pueda llegarle.

6. La forma de las piezas polares debe ser la adecuada para que el campo magnético disminuya rápidamente cuando la cinta se aleje del entrehierro.

7. Ha de ser resistente al desgaste que supone el continuo contacto con la cinta.

Cabeza reproductora

Las cualidades que debe poseer la cabeza reproductora son, como podrá comprobarse, comunes en muchos puntos a las de la cabeza grabadora. Entre las características esenciales de estas cabezas cabe destacar:

1. El magnetismo remanente de la cabeza reproductora debiera ser nulo Ante la imposibilidad de conseguirlo, debe ser tan pequeño como se pueda para conferir mayor proporcionalidad entre el campo de la cinta y la tensión inducida en la bobina.

2. Las pérdidas por corrientes parásitas deben ser muy pequeñas e independientes de la frecuencia en lo que sea posible.

3. La frecuencia propia de resonancia de la cabeza ha de ser lo más elevada que se pueda y en todo caso mayor que la frecuencia más elevada que deba reproducirse.

4. Debe mantener un contacto uniforme con la cinta.

5. Ha de estar apantallada para protegerla de los campos parásitos.

6. El entrehierro de la cabeza reproductora debe ser muy estrecho y uniforme.

7. Ha de ser resistente al desgaste de la cinta.

Compruébense los múltiples parecidos entre las características de las dos cabezas. Sin embargo, conviene notar que todas las cualidades deben cumplirse de forma mucho más rigurosa en las cabezas reproductoras que en las grabadoras.

BORRADO DE LA CINTA

Una cualidad muy apreciable del registro sobre cinta magnética es que la grabación puede borrarse, con lo que aquélla queda dispuesta para recibir nueva información.

El borrado se lleva a cabo cuando la cinta pasa por el entrehierro de una cabeza especial.

La constitución básica de esta cabeza es similar a la de las anteriores, de las que sólo se diferencia en detalles constructivos; consideraremos, por tanto, que está formada por un núcleo anular con su o sus bobinas correspondientes.

El método más usual de los empleados para conseguir el borrado de la cinta consiste en aplicar a la bobina de la cabeza borradora una corriente alterna, casi siempre de la misma frecuencia que la corriente de polarización, lo bastante intensa como para sobrepasar los valores de I_m, que es el valor correspondiente a la saturación.

Por ser bastante grande el entrehierro de esta cabeza, cada punto de la cinta queda sometido a la acción del intenso campo alterno de la cabeza de borrado durante un espacio de tiempo relativamente largo. Ese campo decrece constantemente a medida que el punto considerado de la cinta se aleja del entrehierro de la cabeza.

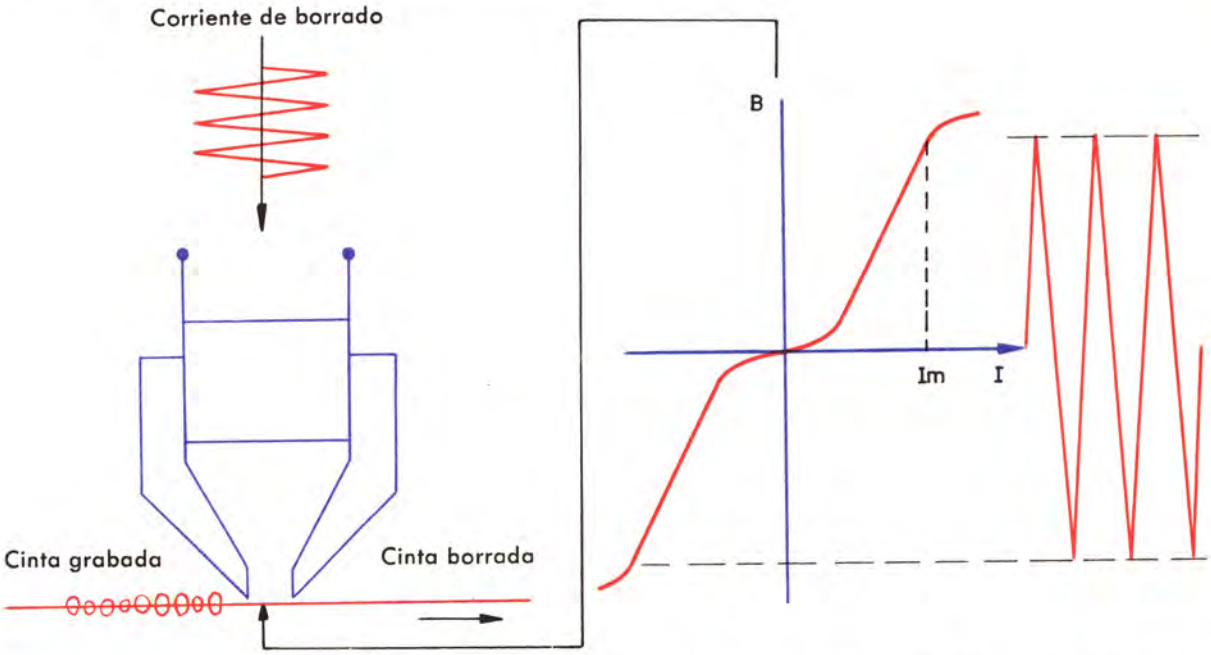
Cada vez que se anule el campo creado por la corriente, el magnetismo remanente depende del valor máximo que haya alcanzado por el cuerpo el campo creado por la corriente.

Fijemos nuestra atención en un trozo determinado de cinta: a medida que se aleje de la cabe-

za los valores máximos del campo van disminuyendo, y por tanto también el magnetismo remanente.

Cuando ese trozo se haya alejado lo suficiente como para que no sean sensibles los efectos del campo creado por la corriente, el magnetismo remanente habrá quedado reducido a cero.

Existe un método con el que se efectúa el borrado de toda una cinta a la vez. Este borrado se lleva a cabo en un aparato especial donde se somete todo el rollo de cinta a la acción de un campo intenso gradualmente decreciente, al mismo tiempo que todo el rollo gira alrededor de un eje. Con este sistema bastan unos pocos segundos para conseguir el borrado de todo un rollo de cinta.



La intensidad de la corriente aplicada a la cabeza de borrado es tal que en la porción central del entrehierro, la cinta es llevada a saturación varias veces en ambos sentidos. A medida que el trozo de cinta considerado se aleja de la zona central del entrehierro, el magnetismo remanente en la cinta va tomando valores cada vez más pequeños y finalmente la cinta queda virgen.

Cabeza de borrado

La misión de esta cabeza es hacer que desaparezca la información previamente grabada en la cinta y ponerla en condiciones de recibir un nuevo registro.

La característica esencial de esta cabeza es la anchura del entrehierro, que debe ser suficiente para que al pasar por él la cinta quedé sometida durante varios ciclos al campo alterno que excita la corriente de la bobina.

Como es bastante intensa la corriente por la bobina de la cabeza de borrado, y su frecuencia un tanto elevada, las pérdidas que sufre por corrientes parásitas y por histéresis son grandes. Es un problema importante la disipación del calor que estas pérdidas suponen.

Por ello puede suponerse un diseño algo diferente de esta cabeza con respecto a las anteriores, aunque su constitución básica se ajuste al mismo patrón que las cabezas de grabación y lectura.

CINTAS MAGNETICAS

En la actualidad las cintas son casi exclusivamente de material plástico. Antes se empleaban otros tipos de cintas que, si bien presentan algunas cualidades tan buenas como las actuales, resultan más caras y son más difíciles de fabricar.

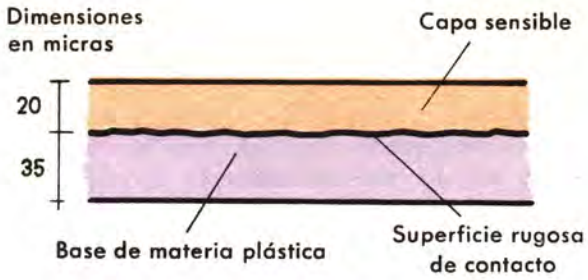
Las cintas modernas son de material plástico y están recubiertas de óxido de hierro en una de sus caras.

El óxido de hierro empleado para el recubrimiento es la hematita (Fe_2O_3) en una variedad que ofrece cristales en forma de agujas. El tamaño de estos cristales es muy crítico en miras a la calidad de la cinta; sus dimensiones deben acercarse en lo posible a 0'0001 × 0'001 mm.

Para que la cinta sea muy sensible estos cristales han de estar orientados de forma que su dimensión mayor quede en la dirección longitudinal de la cinta.

En el proceso de fabricación estos cristales se mezclan con una laca sintética que los recubre en una capa muy fina. El aglomerado así formado constituye el material de recubrimiento de la base plástica de la cinta.

La base plástica puede ser de diferente composición según las cintas y los fabricantes. Los tipos: cintas con base de acetato, las de cloruro de polivinilo y últimamente las de poliester (a veces llamadas «mylar», que es el nombre del poliester fabricado por industrias Dupont).



Cinta de plástico.

La cinta de acetato presenta sobre la de polivinilo la ventaja de una mayor uniformidad en el espesor; pero el acetato tiene el inconveniente de ser higroscópico, y por tanto la cinta es sensible a la humedad.

La cinta de poliester parece presentar las ventajas de las dos anteriores y ninguno de los inconvenientes citados; pero se estira con facilidad cuando se la somete a esfuerzos, aun reducidos, y además es bastante más cara que aquéllas.

CUALIDADES QUE DEBE REUNIR UNA CINTA

Las cualidades de una cinta deben considerarse desde dos puntos distintos: por un lado las que le confieren las propiedades mecánicas, y por otro las magnéticas debidas a la capa de óxido. Ambas influyen notablemente a la calidad de la reproducción.

Requisitos mecánicos de una cinta

1. Superficie lisa. La superficie de una cinta ha de ser lo más lisa y uniforme posible por las siguientes razones:

a) La distancia entre los cristales de óxido de hierro y la cabeza de lectura varía si la cinta no es lisa, en consecuencia provocando distorsión.

b) Al estar la cinta en contacto con las cabezas provoca en ellas un desgaste; éste es tanto menor cuanto más lisa sea la cinta.

Por este motivo se provee la capa sensible de las cintas actuales de una materia lubricante que les confiere un típico tacto grasoso.

Se logra que la superficie sea lisa procurando que los cristales de óxido de hierro aplicados a la cinta sean tan uniformes en tamaño como pueda lograrse por la técnica de fabricación.

2. Buen aglutinante. El aglutinante que se emplea para formar y adherir la capa sensible a la base plástica de la cinta ha de unir los cristales entre sí, y además éstos sobre la base.

No ha de ser pegajoso, rígido ni quebradizo. Estas cualidades son fácilmente comprobables por la simple inspección de la cinta. Para comprobar la unión entre la capa sensible y la base plástica basta con rascar con la uña la parte sensible: si la unión entre las dos capas es la adecuada no se desprende parte alguna de la capa sensible.

Además debe exigirse a esta materia aglutinante que no acumule carga estática al pasar rozando las cabezas y guías. De no tener esta propiedad, se provoca durante la lectura un chisporroteo bastante perceptible.

3. Otras propiedades mecánicas que debe reunir la cinta son las correspondientes a sus dimensiones y efectos de las cargas mecánicas. Estas últimas propiedades están fijadas por normas y pueden verse en las tablas que incluimos en la página siguiente.

CARACTERISTICAS MECANICAS DE LAS CINTAS

TIPOS DE CINTA	Ancho en milímetros	Grueso máximo en micras	Alargamiento después de 1 minuto de carga	Alargamiento permanente
CINTA NORMAL	6,25 ± 0,05	60	< 1,5 % con 1 Kg.	0,2 %
CINTA LARGA DURACION	6,25 ± 0,05	40	< 1,5 % con 0'75 Kg.	0,2 %
CINTA DOBLE DURACION	6,25 ± 0,05	30	< 1,5 % con 0'5 Kg.	0'2 %

La presentación de la cinta en carretes ha obligado también a normalizar los tamaños de éstos y la longitud de cinta que contienen. En la tabla pueden verse estos datos, junto con los tiempos de reproducción para cada velocidad de cinta.

TIPOS NORMALIZADOS DE CARRETES

DIAMETRO DEL CARRETE	Tipo de cinta	Cinta contenida en un carrete (en metros)	DURACION EN MINUTOS DE LA REPRODUCCION			
			Velocidad 19 cm/s	V. 9,5 cm/s	V. 4,75 cm/s	V. 2,4 cm/s
7,5	N	45	4	8	15	30
	L	65	6	12	23	45
	D	90	8	15	30	60
10	N	90	8	15	30	60
	L	135	12	23	45	90
	D	180	16	30	60	120
13	N	180	16	30	60	120
	L	270	23	45	90	180
	D	360	33	67	135	270
15	N	270	23	45	90	180
	L	360	33	67	135	270
	D	540	45	90	180	360
18	N	360	33	67	135	270
	L	450	45	90	180	360
	D	730	60	120	240	480

N = Cinta normal L = Larga duración D = Doble duración

Las cintas magnéticas se expenden en carretes de diversos tamaños que pueden acoplarse directamente a los magnetofonos.

Requisitos magnéticos

1. Alta sensibilidad. La sensibilidad de una cinta es, entre ciertos límites, proporcional al espesor de la capa sensible. Decimos entre ciertos límites porque existe relación entre el grueso de la base y el espesor de la capa de óxido. Esta relación oscila normalmente entre 1/3 y 2/5.

La sensibilidad de una cinta ha de ser uniforme en toda su longitud. La variación máxima permitida en este sentido para una cinta de calidad es de 1 db.

Entre diferentes cintas de un mismo tipo se admiten oscilaciones entre —1 y +2 db.

2. El ruido de fondo o ruido blanco. Ha de mantenerse a 1000 ciclos con un 3 % de distorsión a un nivel inferior a —60 db.

3. Ruido de modulación. En las mismas condiciones que antes debe mantenerse por debajo de —45 db.

4. Respuesta de frecuencia. Aquí sólo diremos que depende del tipo de cabeza lectora y de la velocidad de la cinta. En magnetofonos un poco elaborados puede abarcar toda la gama de audio. Más adelante trataremos con mayor amplitud este punto.

5. Teniendo en cuenta que pretendemos que en una cinta quede una información grabada con un mínimo de intensidad por las bobinas de la cabeza de registro, el material que constituye la capa sensible de la cinta ha de tener un elevado magnetismo remanente, para así conseguir un elevado campo remanente en la cinta con un mínimo de excitación. Además se pretende que este registro no se altere con facilidad; es decir, que no lo destruya cualquier campo que accidentalmente alcance la cinta. El mayor o menor grado en que puede poseer esa propiedad una cinta se expresa diciendo que tiene mayor o menor fuerza coercitiva.

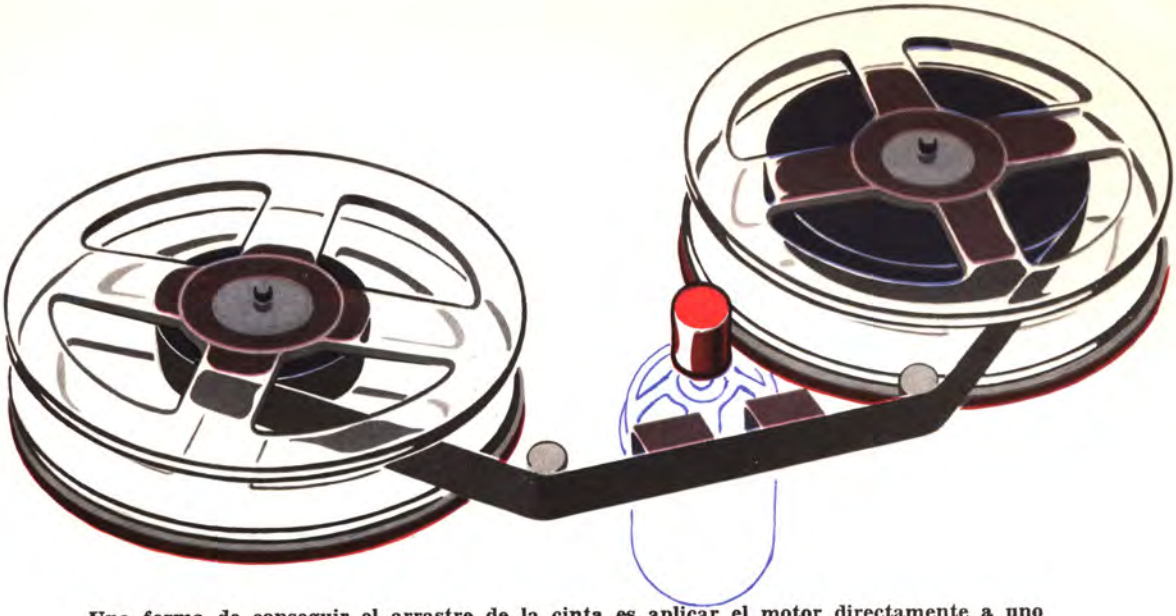
MECANISMOS DE ARRASTRE DE LA CINTA

De la misma manera que en los tocadiscos había que fijar la velocidad de giro del plato, en los magnetofonos hay que fijar la velocidad de la cinta y mantenerla constante.

Se han ideado varios mecanismos para conseguir tal fin, todos ellos basados en uno de los siguientes principios:

1. La cinta es arrastrada por un motor que acciona el carrete de bobinado. Por este sistema la velocidad de giro del carrete se mantiene constante; pero la velocidad de la cinta depende de la cantidad de cinta enrollada en el carrete de bobinado; por tanto es variable, lo que hace inaplicable el método en un magnetofón incluso de baja calidad. (Sólo se emplea el sistema en dictáfonos.)

2) La cinta es arrastrada por una rueda con borde de goma que gira a velocidad constante. El sistema es mucho mejor que el anterior, pero puede ocurrir que la cinta se distienda y deslice.

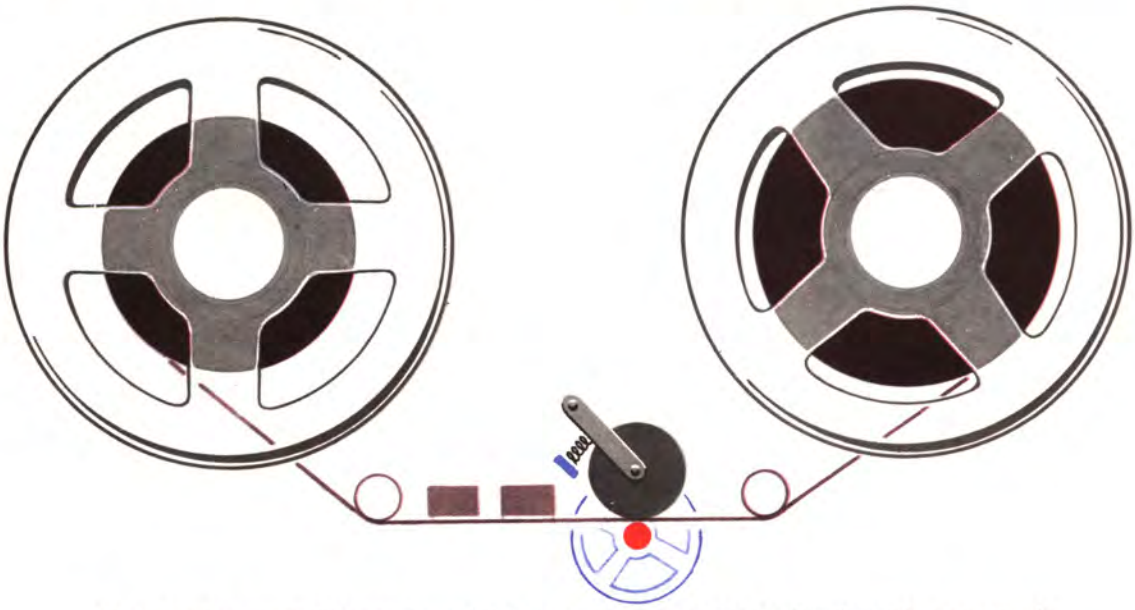


Una forma de conseguir el arrastre de la cinta es aplicar el motor directamente a uno de los carretes. La velocidad de arrastre de la cinta no es constante, pues depende de la cantidad ya enrollada. Se emplea sólo en aparatos muy sencillos.

3. La cinta es arrastrada por un eje metálico contra el que le oprime un rodillo de goma. Se evita así el deslizamiento de la cinta y su velocidad es constante mientras lo sea la del eje metálico. Este tipo de mecanismo es el usualmente empleado.

En un magnetofón no es, empero, la velocidad de la cinta lo único a considerar, pues se le exige además que su arrastre pueda tener lugar en los dos sentidos y con diversas velocidades.

Todo ello trae consigo una cierta complejidad en el mecanismo de arrastre. Son numerosos los sistemas existentes destinados a llevar a cabo todas estas operaciones.



En todos los magnetofonos de calidad la cinta es arrastrada directamente por un eje motriz sobre el que presiona un rodillo para evitar el deslizamiento.

ALGUNOS TIPOS BASICOS DE SISTEMAS DE ARRASTRE

Dividiremos en tres categorías, según el número de motores que precisan para cumplir su cometido, los distintos sistemas de arrastre que albergan los magnetofonos: sistemas con tres motores, sistemas con dos motores y sistemas con un solo motor.

Sistemas con tres motores

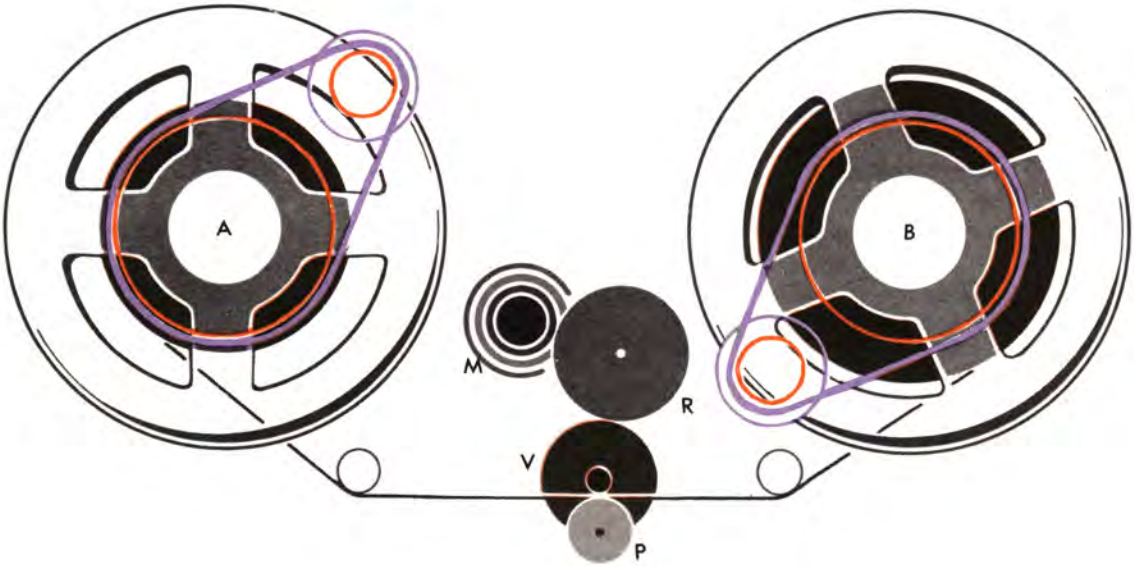
Estos sistemas son desde luego los mejores y ¿cómo no? los más caros. Por lo general se emplean en aparatos destinados a uso profesional.

Se emplea un motor para cada carrete y el tercero para el arrastre de la cinta —en la inmensa mayoría de los casos por el método del eje con rodillo opresor—.

El motor destinado al arrastre de la cinta en los sistemas con tres motores es por lo general de tipo síncrono. El motor síncrono tiene la propiedad de poseer una velocidad de giro que depende de la frecuencia de la tensión de alimentación y del número de polos de su bobinado, y que entre límites muy amplios es independiente de la tensión de alimentación, por lo que su velocidad permanece prácticamente constante.

Sea cual fuere el tipo de un motor, es muy difícil que la velocidad de giro se mantenga constante durante todo el recorrido de una vuelta debido a que su par de giro no es constante a lo largo de los 360 grados. Para que este inconveniente no afecte a la velocidad de la cinta acostumbra construirse motores bastante pesados para que actúen como volante de compensación; o bien se adapta un volante al eje del motor o a algún eje de la transmisión. Recuérdese que en los tocadiscos se emplean platos pesados para que actúen como volante.

Los motores que accionan los carretes son asíncronos, pues en estos motores la velocidad de giro depende (además de la frecuencia) de la tensión de la alimentación. Por tanto es sencillo variar esta velocidad; basta con cambiar la tensión alimentadora.

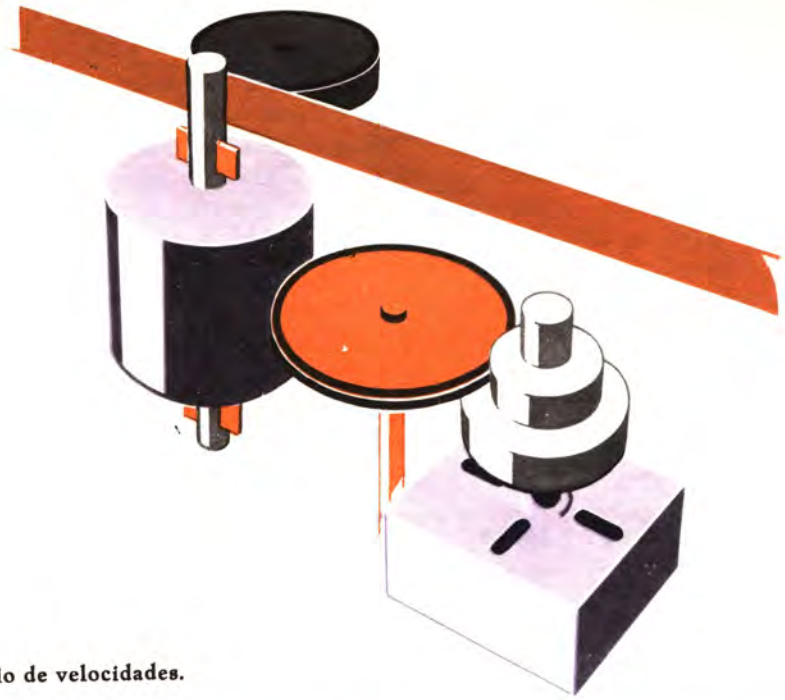


Cuando el sistema de arrastre consta de tres motores, dos de ellos, de tipo asíncrono, accionan directamente los carretes de cinta y el tercero, de tipo síncrono, arrastra la cinta a través de un dispositivo de cambio de velocidades.

Para dar a la cinta velocidades diferentes el eje de motor de arrastre no está en contacto directo con la cinta, sino a través de una rueda intermedia. Este eje tiene diámetros diferentes que comunican a la rueda intermedia, y por tanto a la cinta, las diferentes velocidades.

En las operaciones de grabación y de registro se precisa cierta velocidad para la cinta. Puede elegirse entre los normalizadas de 19, 9'5, 4'75 y 2'4 cm/seg (la última es poco frecuente). Esta velocidad se impone a la cinta por medio del motor de arrastre. Con esto no se resuelve el problema, pues además hay que pensar en que esta cinta la suministra un carrete que gira con determinada velocidad y que habrá de bobinarse en otro que también gire a una velocidad adecuada.

Las velocidades adecuadas para cada carrete



Detalle del cambio de velocidades.

se consiguen actuando sobre las tensiones de alimentación de sus motores, sea automáticamente al pulsar la tecla adecuada para que el magnetofón realice una determinada operación, sea por un ajuste auxiliar complementario.

La tensión que alimenta al motor del carrete que recoge la cinta se ajusta de manera que tenga tendencia a girar algo más de prisa de lo que corresponde a la velocidad de arrastre de la cinta. En cambio el motor del que la suministra tiende a girar algo más despacio. De esta forma se consigue que la cinta se mantenga tensa.

Para la operación de rebobinado el eje de arrastre de la cinta accionado por el motor síncrono se separa de ella. Se suministra entonces a cada uno de los motores de los carretes tensiones lo suficientemente elevadas como para que giren a gran velocidad, con lo que esta operación se lleva a cabo en muy poco tiempo.

Empleando este sistema con tres motores quedan, por tanto, resueltos todos los problemas de arrastre que pueden presentarse en un magnetofón durante la grabación, lectura y rebobinado de la cinta.

Sistemas con dos motores

Los sistemas con dos motores pueden dar resultados tan buenos como los anteriores si su diseño es cuidado.

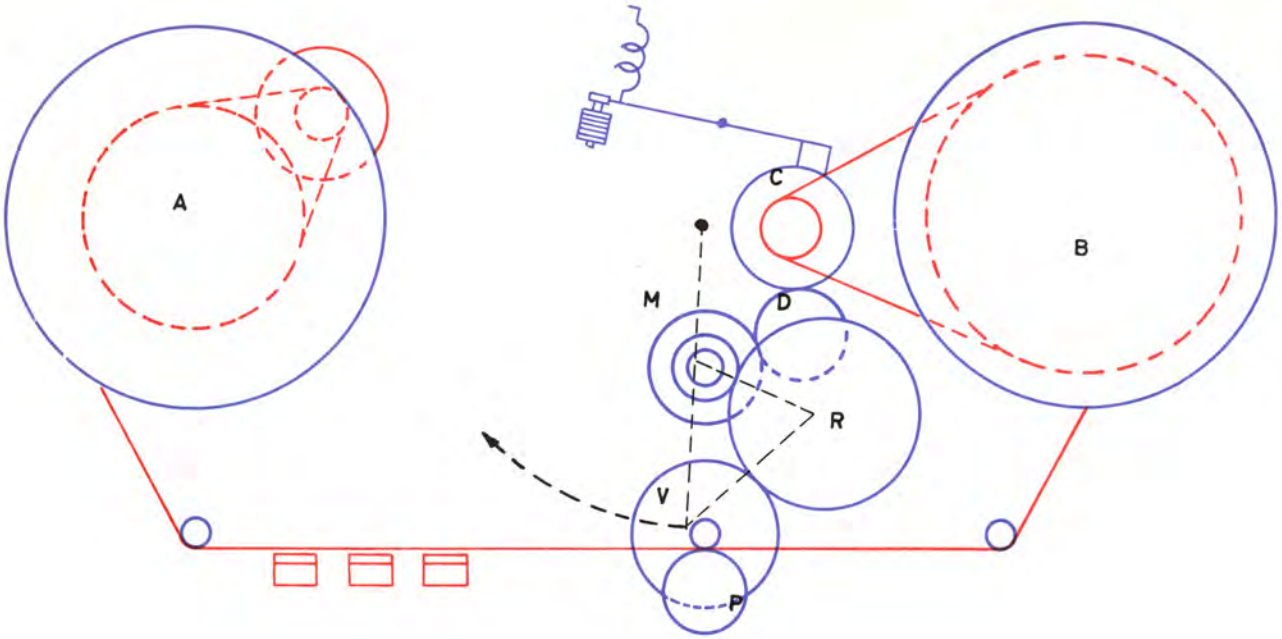
Desde luego, los tipos de mecanismos que este arrastre ofrece son más variados que en el sistema de arrastre por tres motores, puesto que allí la posición y cometido de cada motor estaban delimitados con claridad, mientras que con dos motores las posibilidades de variación en la posición relativa de los elementos y en los sistemas de transmisión son muy diversas.

Diremos, pues, ante la imposibilidad de describir el gran número de mecanismos concretos existentes de este tipo, cómo funciona uno de estos mecanismos de arrastre al que, salvo diferencias en la posición de las ruedas intermedias, correas de transmisión, etc., en esencia se ajustan los diversos tipos.

En estos mecanismos de arrastre un motor se emplea para el arrastre de la cinta, mientras que el otro mueve uno sólo de los carretes.

En las operaciones de reproducción y grabación el motor síncrono de arrastre de la cinta actúa moviéndola a la velocidad correspondiente por delante de las cabezas. La elección de la velocidad correspondiente para el motor de arrastre se lleva a cabo de la misma manera que en los sistemas con tres motores. La cinta se recoge en uno de los carretes, accionado, mediante una transmisión por correa, por el propio motor de arrastre de la cinta.

Esta transmisión por correa está dispuesta de



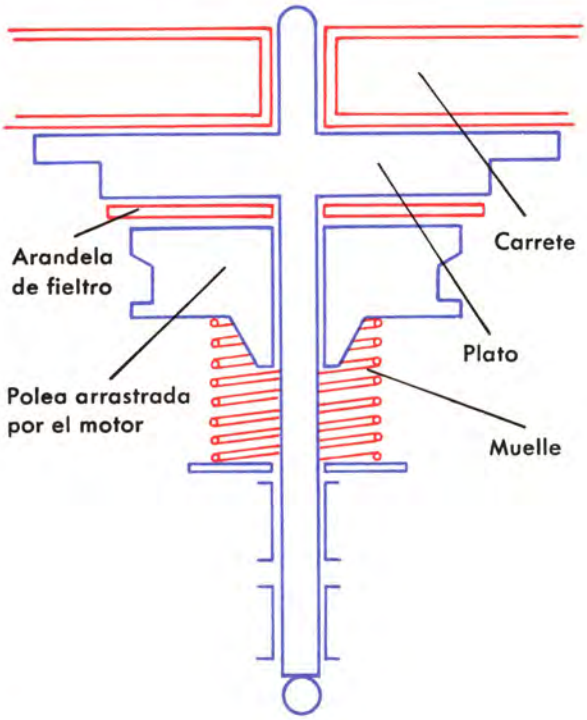
En los sistemas de dos motores uno de ellos, del tipo asíncrono, se utiliza para el rebobinado rápido de la cinta. El otro, del tipo síncrono, arrastra la cinta y acciona el carrete B durante la grabación y reproducción. Un patín accionado por un electroimán inmoviliza la polea C durante el rebobinado y de esta forma el carrete B es frenado por el embrague a fricción de que va provisto.

forma que *haría* girar el carrete a mayor velocidad que la necesaria para recoger la cinta, cualquiera que sea la cantidad de cinta ya almacenada. Decimos *haría* porque la unión entre el carrete y la polea situada en su mismo eje no es rígida, sino que tiene lugar a través de un dispositivo de fricción que patina constantemente y sólo transmite la fuerza necesaria para mantener tensa la cinta.

El carrete que cede la cinta está directamente acoplado al otro motor, que es del tipo asíncrono; es decir, cuya velocidad puede regularse variando la tensión de alimentación.

Durante el rebobinado el eje de arrastre se separa de la cinta; y el motor asíncrono gira en sentido contrario y a una velocidad mayor, recogiéndola.

El otro carrete está frenado por el sistema de fricción y mantiene tensa la cinta.



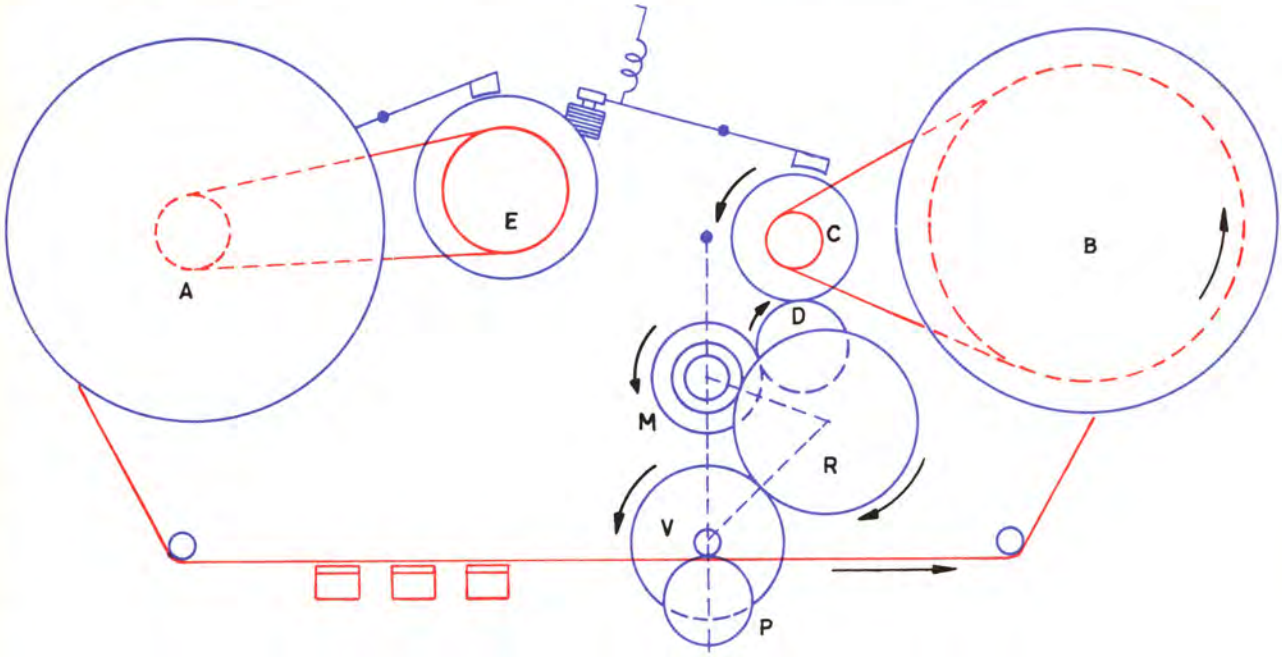
Detalle del embrague a fricción a través del cual se arrastra el carrete B. El motor arrastra la polea acanalada y el movimiento se transmite al plato mediante la arandela de fieltro.

Sistemas con un solo motor

Como es lógico, en los sistemas de arrastre de este tipo son más numerosas las ruedas intermedias y las correas de transmisión, por lo que existe mayor número de posibilidades de combinación de estos elementos y en consecuencias más diferencias entre los distintos tipos. A pesar de ello, la inmensa mayoría de los sistemas de arrastre con un solo motor tienen una parte común. El único motor actúa —directamente o mediante ruedas intermedias— sobre el eje que arrastra la cinta, mientras que la rotación de los carretes se consigue con la ayuda de una transmisión por correa.

Veamos uno de estos tipos de transmisión para darnos cuenta de cómo consiguen las velocidades adecuadas de cada elemento en las distintas operaciones. Los demás sistemas, como hemos dicho, difieren más o menos de éste, aunque casi todos respetan el principio de funcionamiento antes enunciado.

En el mecanismo de la figura el motor arrastra, mediante una rueda intermedia con banda de caucho, el volante sobre cuyo eje va montado el cabrestante que arrastra la cinta. El cambio de velocidades se realiza por el sistema de eje con diferentes diámetros. El motor puede ser síncrono o asíncrono, aunque es preferible el síncrono.



Si se utiliza un solo motor en el sistema de arrastre, el movimiento del carrete A durante la grabación y reproducción queda ligeramente frenado por el patín a fin de mantener la cinta tensa.

Durante la grabación o la reproducción el carrete B recoge la cinta; está accionado por la rueda C a través de una correa.

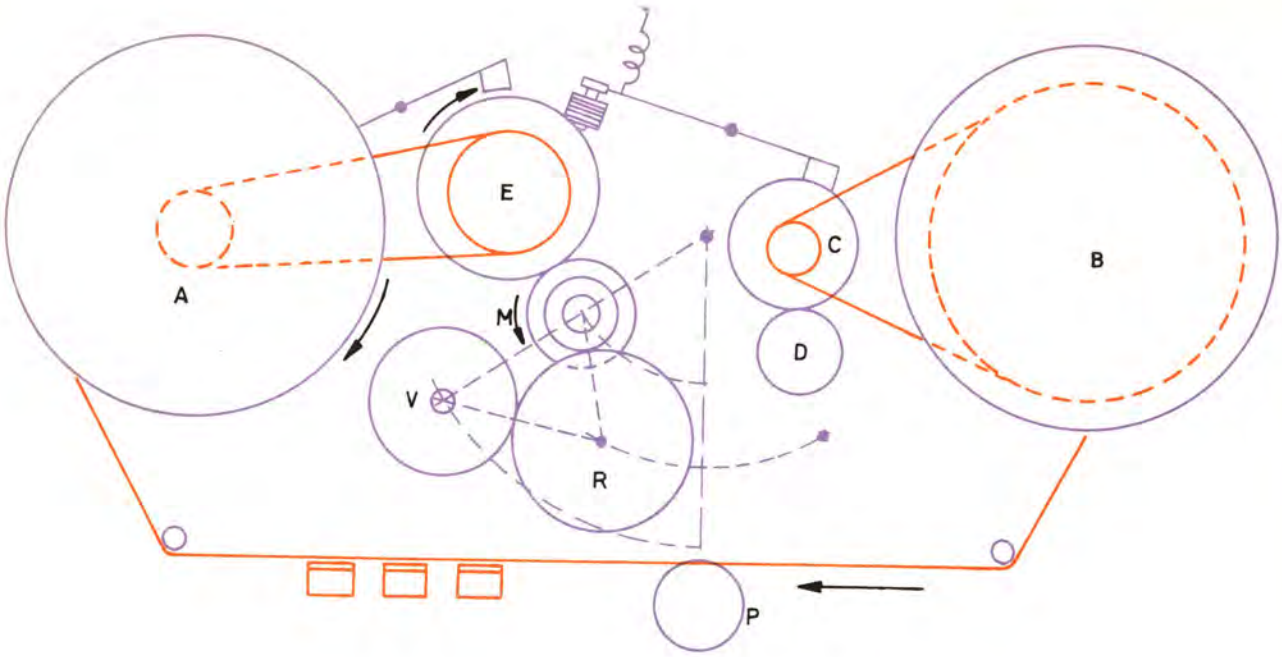
La rueda C es arrastrada por fricción con la polea del motor.

El carrete B está provisto de un mecanismo de fricción como en el modelo de dos motores. Al mismo tiempo, el carrete A que cede la cinta está ligeramente frenado por un patín para mantenerla tensa.

Durante el rebobinado el conjunto motor bascula hacia un lado, con lo que el eje de arrastre se separa de la cinta y la polea motriz deja de accionar el carrete B y acciona el A.

Debido a que ahora el arrastre se hace por intermedio de la polea D, el carrete A gira en sentido contrario al en que giraba durante la reproducción o grabación.

El carrete B queda frenado por un patín para que la cinta no forme bucles.



Para efectuar el rebobinado, el motor bascula y su eje acciona el carrete A a través de la polea E.

RESPUESTA DE FRECUENCIA DE UN MAGNETOFONO

La respuesta de frecuencia de un magnetofón, como es natural, depende de todos los elementos que intervienen en las operaciones de registro y reproducción; es decir, desde la calidad del micrófono a la del altavoz.

La respuesta de cada uno de estos elementos se estudia en el apartado correspondiente. Aquí sólo nos interesa la influencia que sobre esta respuesta puede ejercer lo que constituye la esencia del magnetofón; es decir, las cintas y las cabezas de registro y reproducción.

De la calidad de registro se ha hablado ya, y por tanto la supondremos de la categoría suficiente como para satisfacer todas las exigencias que se le pidan; cosa que por otro lado no es ningún ideal irrealizable, pues en el comercio pueden encontrarse cintas adecuadas a cualquier trabajo.

Centraremos, pues, el problema en el magnetofón en sí, o sea en la velocidad que puede comunicar a la cinta y en las características de la cabeza o cabezas de que disponga.

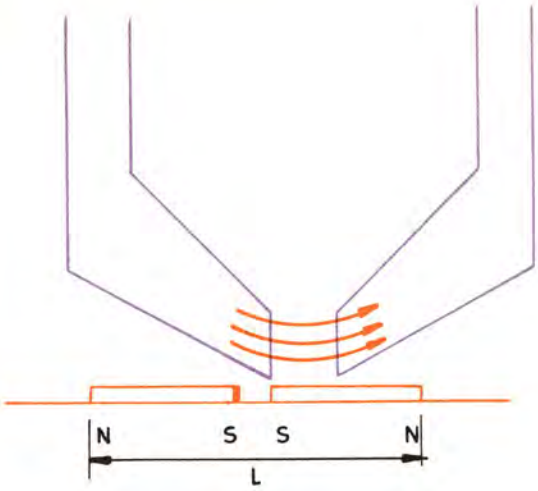
El entrehierro de la cabeza grabadora no tiene efecto apreciable sobre la respuesta de frecuencia —claro está, siempre que se mantenga dentro de unos límites—. En cambio, el entrehierro de la cabeza reproductora es la magnitud que, junto a la velocidad de la cinta, determina la respuesta de frecuencia del conjunto, no olvidando que hemos supuesto la calidad de la cinta lo suficientemente elevada como para poder registrar cualquier frecuencia y que las características de las cabezas, además del entrehierro, son las adecuadas para cada función (pocas pérdidas por corrientes parásitas, evacuación adecuada del calor, bobinas con la eficiencia suficiente, buen blindaje, etc.).

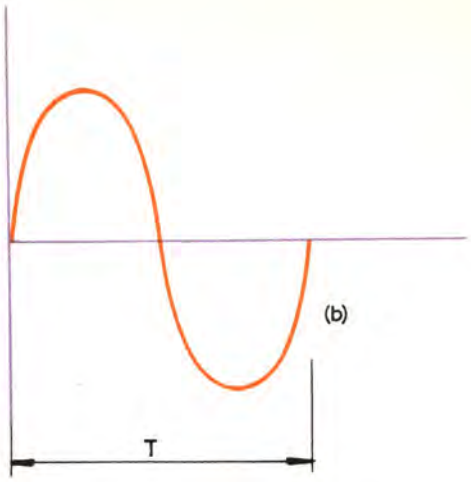
Veamos en primer lugar por qué influye sobre las frecuencias reproducidas la longitud del entrehierro de la cabeza reproductora.

Cuando la cinta pasa por debajo de la cabeza grabadora se forman en ella unos pequeños imanes, que constituyen el magnetismo remanente, cuya orientación depende del sentido de la corriente que circula por la bobina.

Si la onda de la corriente es por ejemplo senoidal, la distribución de los imanes es la indicada. Cada ciclo forma dos conjuntos de pequeños imanes de orientación en sentido contrario, como corresponde al diferente signo de la corriente en cada uno de los semiciclos.

La longitud de cinta que ocupan los dos con-





Al pasar la cinta por la cabeza grabadora, queda en ella un magnetismo remanente. Si es (b) la onda de corriente por el grabador, en la cinta aparecerán los imanes con la polaridad indicada. La longitud "L" de cinta que ocupa un ciclo es la que ha atravesado en un tiempo T.

juntos de imanes es, naturalmente, el camino recorrido por la cinta en un tiempo igual al período de la corriente registrada. La distancia *l* depende, pues, del período de la corriente en forma directa, siendo en consecuencia inversamente proporcional a la frecuencia que se está registrando.

Si se registra en la cinta una frecuencia muy elevada, esta distancia es muy pequeña. Y ¿qué ocurre si es inferior a la longitud del entrehierro de la cabeza reproductora?

Como puede verse en la figura, los pequeños imanes que constituyen el magnetismo remanente correspondiente a la onda grabada tienen orientación contraria, y por tanto la acción perturbadora sobre el campo magnético del entrehierro es nula, si ambos están incluidos en él.

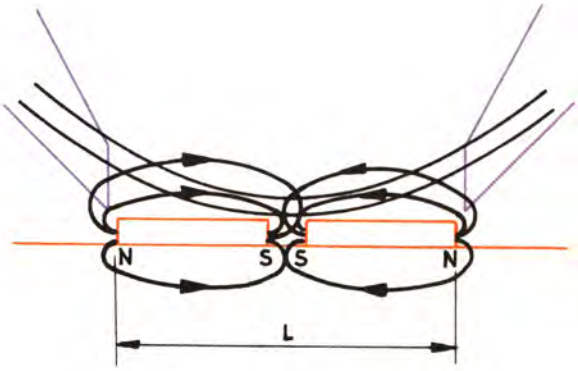
El entrehierro de la cabeza lectora puede tener, pues, como máximo las dimensiones correspondientes a la mitad de la longitud que ocupe en la cinta la grabación de una onda completa correspondiente a la frecuencia más elevada. Queda por tanto vista esta relación íntima entre el entrehierro de la cabeza reproductora y la frecuencia más elevada a reproducir.

Hemos dicho que este límite superior de frecuencias reproducibles depende también de la velocidad de la cinta. Veámoslo.

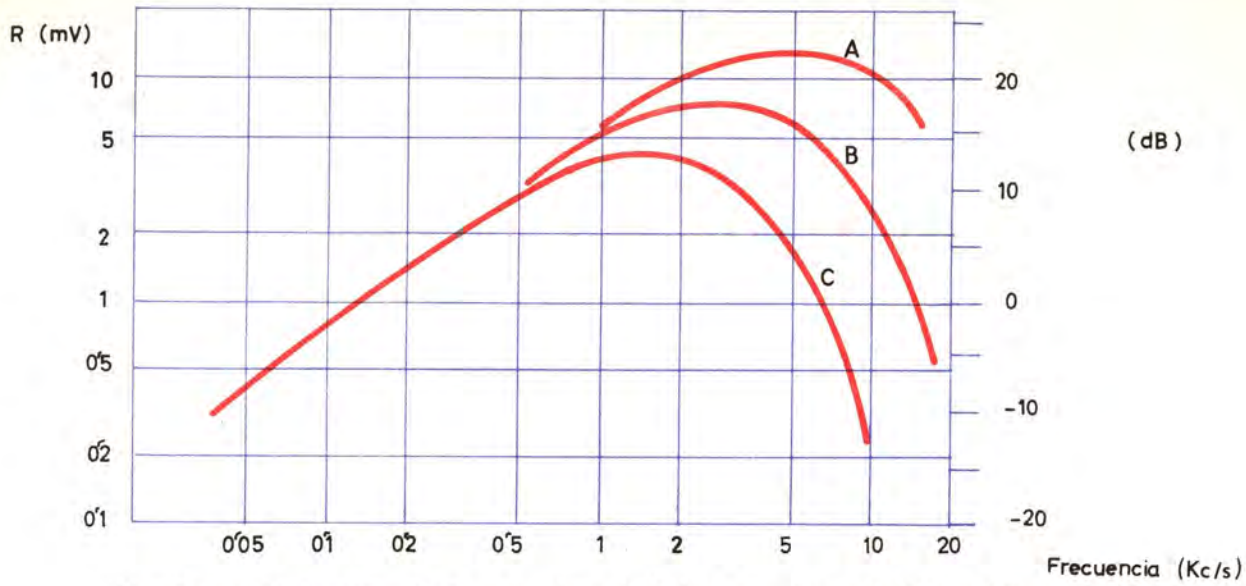
Para un entrehierro dado de la cabeza reproductora, la frecuencia más alta a reproducir depende sólo de la longitud *l*. Pero ¿de qué depende esta longitud de cinta necesaria para registrar una onda? Como es natural, de la velocidad con que pasa la cinta por la cabeza de grabación, pues para una onda determinada el tiempo que tarda la corriente en completar un ciclo a través de las bobinas de la cabeza es un período T, y la longitud de cinta precisa para registrar esta frecuencia es la que atraviesa el entrehierro durante este tiempo T; como es lógico, *l* es tanto mayor cuando más elevada sea la velocidad de la cinta.

Tenemos, pues, que la longitud *l* aumenta con la velocidad de la cinta; y como con un entrehierro determinado de cabeza reproductora puede efectuarse la lectura de frecuencias para las que la longitud *l* sea el doble de este entrehierro, resulta que aumentando la velocidad de la cinta se puede aumentar el límite superior de la gama de frecuencias reproducida.

La respuesta de frecuencia depende, pues, en esencia de la velocidad de la cinta y del entrehierro de la cabeza reproductora.



Si "L" es inferior al entrehierro, los campos de cada uno de los imanes son de signo opuesto y sus efectos se compensan.



El gráfico indica la respuesta de una cabeza de lectura para tres velocidades distintas: en A 19 cm/s, en B 9'5 cm/s y en C 4'75 cm/s. Queda claramente expuesto que la tensión de salida varía proporcionalmente con la frecuencia hasta alcanzar un máximo que depende de la velocidad de la cinta.

Tratemos ahora de obtener la forma de la curva de respuesta de un magnetofón cuyas cabezas tuviesen las características que hemos supuesto hasta ahora.

Si por la cabeza del registro pasan intensidades de frecuencias constantemente crecientes, en la cinta quedan registradas estas frecuencias mediante campos remanentes de igual intensidad. Cuando la cinta atraviesa el entrehierro de la cabeza reproductora induce en sus bobinas una f.e.m. *proporcional a la variación del número de líneas de fuerza que la atraviesen por unidad de tiempo;* pero este número de líneas de fuerza por unidad de tiempo varía con la frecuencia, puesto que, por ejemplo, al doblarse ésta es también doble el número de variaciones que sufre el campo del entrehierro en un mismo tiempo; y en consecuencia doble también la variación del número de líneas, y por tal motivo doble igualmente la f.e.m. inducida en las bobinas.

La curva de respuesta asciende, pues, hacia las frecuencias elevadas con una pendiente tal que la salida se dobla cuando se dobla la frecuencia, pendiente que en un diagrama db-frecuencia es de 6 db por octava, ya que una octava es el intervalo que separa dos frecuencias, una de las cuales es igual al doble de la otra.

Al llegar a las frecuencias altas, esta pendiente ascendente se reduce por las razones que antes hemos indicado.

La respuesta de los elementos magnéticos es, pues, no plana. Con el fin de compensar esta respuesta, los amplificadores de los magnetofonos tienen una característica especial para lograr que la respuesta del magnetofón, como conjunto, sea plana.

RUIDO Y ZUMBIDO EN LA GRABACION MAGNETICA

El ruido en los magnetofonos puede ser de dos tipos: el que produce la cinta cuando no lleva registrada ninguna señal y el ruido que tiene lugar cuando se reproduce una cinta con información. Al primero de estos ruidos se le llama ruido cero, y al segundo ruido de modulación.

Ruido cero. Este ruido procede de que los cristales que constituyen la capa sensible de la cinta no son otra cosa que pequeños imanes, orientados en distintas direcciones de manera que el campo resultante en cada región finita de la cinta sea cero, pero no así el campo en cada punto de la cinta.

Al pasar por el entrehierro de la cabeza lectora cada uno de los cristales provoca en ella una pequeñísima perturbación que da lugar a una tensión muy débil, que una vez amplificada se percibe como ruido.

Este tipo de ruido puede atribuirse casi exclusivamente a la calidad de la cinta. En una cinta de características aceptables queda por debajo de 50 db.

Ruido de modulación. Este ruido es el que aparece, o mejor dicho se percibe, cuando está registrada una información en la cinta.

Se debe a la estructura de la capa magnética de la cinta. Hemos supuesto hasta aquí que todos los cristales de óxido de hierro eran iguales y estaban uniformemente distribuidos en la superficie de la cinta. Como es natural, esto no ocurre exactamente así, sino que los cristales tienen tamaños algo diferentes y pueden encontrarse puntos en los que su densidad es superior a la de otros. Además se ha supuesto que la superficie de la cinta es por completo lisa, requisito que tampoco se cumple en forma rigurosa. Resulta por tal motivo que la distancia entre el grabador y la cinta varía en las rugosidades, y por tanto también la influencia del campo del entrehierro sobre la cinta.

Zumbido. Sabemos que el zumbido tiene origen en la influencia que sobre los elementos de reproducción, y aquí también de registro, pueden ejercer los campos perturbadores que llegan a las cabezas respectivas. Una forma de evitarlo, o por lo menos reducirlo a un mínimo, consiste en el cuidado del blindaje de dichas cabezas.

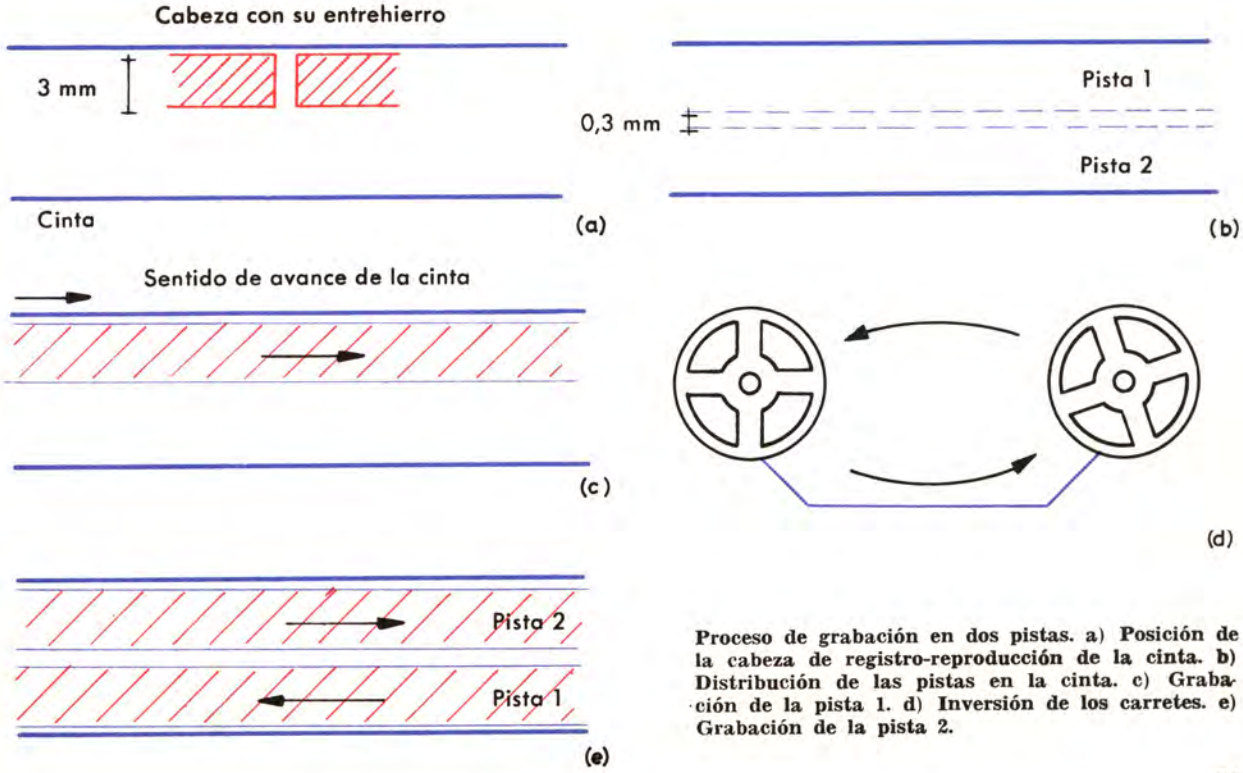
GRABACION EN DOS O CUATRO PISTAS

Para obtener un ahorro efectivo de cinta se han ideado los procedimientos de grabación con varias pistas en una sola cinta.

En los comienzos de la grabación magnética en cinta plástica se empleó todo el ancho de la cinta, o sea 6'25 mm, para registrar una sola información; pero a medida que mejoró la calidad de las cintas se hizo posible registrar esta información en sólo una parte del ancho. Primero apareció la novedad de la grabación en dos pistas, y más tarde en cuatro.

En la grabación en dos pistas el grosor de la cabeza de registro, e igualmente el de la cabeza reproductora, es del orden de 3 mm, o sea algo inferior a la mitad del ancho de la cinta. Primero pasa la cinta ante esta cabeza de registro, que está situada a uno de los lados de aquélla, con lo que se registra la información en una de las pistas; cuando la totalidad de la cinta tiene grabada esta pista se invierte la posición relativa de los rollos —es decir, el de la izquierda pasa a la derecha y viceversa—; resulta entonces que la pista superior de la cinta pasa a la posición inferior y la inferior ocupa la posición más elevada. Pasando de nuevo la cinta por delante del grabador, que está ahora enfrente de la pista no registrada, se efectúa la grabación de la segunda pista.

La grabación en cuatro pistas supone que exis-



Proceso de grabación en dos pistas. a) Posición de la cabeza de registro-reproducción de la cinta. b) Distribución de las pistas en la cinta. c) Grabación de la pista 1. d) Inversión de los carretes. e) Grabación de la pista 2.

ten simultáneamente cuatro informaciones en el ancho de la cinta.

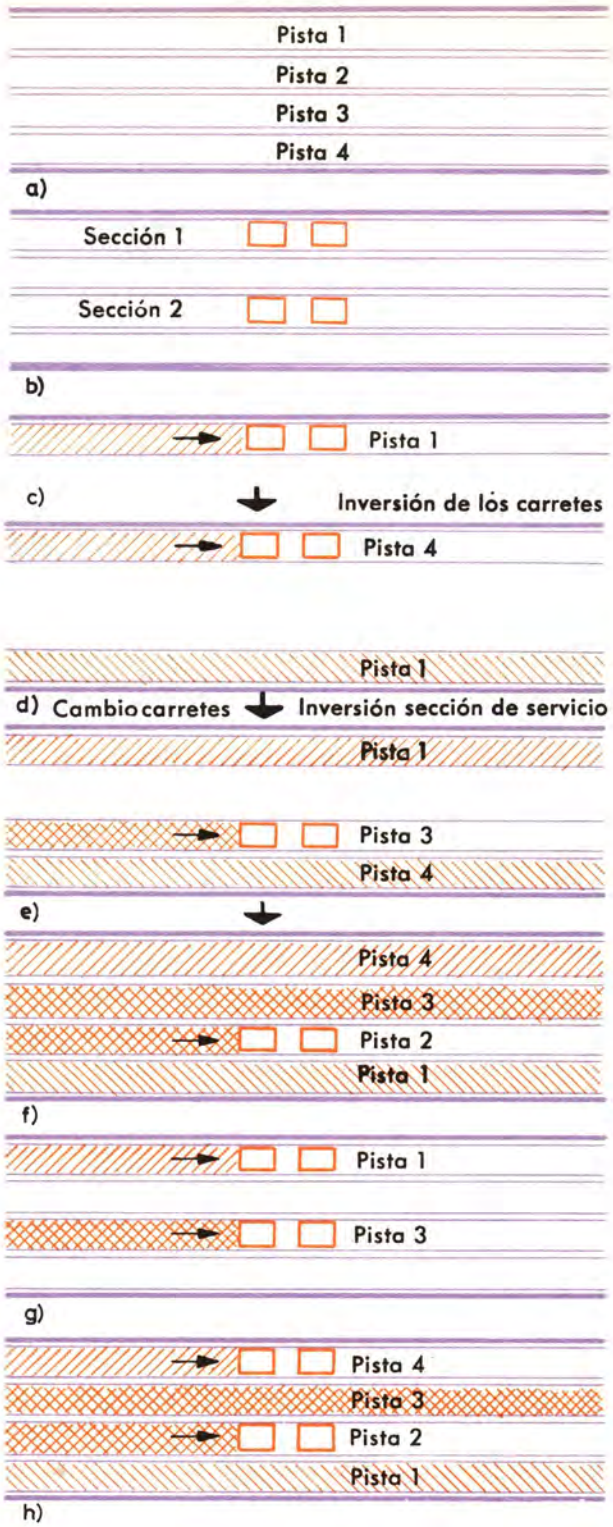
Las cabezas de registro y reproducción de los magnetofonos están constituidas por dos unidades independientes, cada una de un grosor algo inferior a la cuarta parte del ancho de la cinta. Las dos unidades están separadas por una distancia igual también a la cuarta parte del ancho de la cinta.

Al efectuar la grabación, si se lleva a cabo pista por pista, se empieza por dejar fuera de servicio una de las secciones de la cabeza, sea por ejemplo la 2; y aplicando la señal a grabar en la otra se registra una pista, la 1 en este caso. Una vez registrada esta pista en toda la cinta se invierte, como antes, la posición de los carretes; si se deja en funcionamiento la misma sección de la cabeza registra la pista 4. Una vez totalizada la grabación de esta pista se invierte de nuevo la posición de los rollos, a la vez que se deja fuera de servicio la cabeza que estaba grabando y se aplica la señal a la cabeza 2, la que registra en estas condiciones la pista 3 y hace lo propio con la 2 cuando se invierta la posición de los rollos.

Gracias a este tipo de cabezas con dos secciones independientes puede registrarse simultáneamente dos canales, requisito que, como veremos más adelante, es imprescindible en el registro estereofónico. Existen también, aunque son poco comunes, cabezas con dos secciones en magnetofonos destinados a la grabación con sólo dos pistas. En este caso pueden grabarse simultáneamente las dos pistas —caso de la información estereofónica—; o bien, si sólo se desea registrar una pista en cada paso de cinta por la cabeza de registro, efectuar el registro de la otra sin necesidad de invertir la posición de los carretes: para ello basta con variar la cabeza que está registrando.

Esta operación es especialmente interesante en un tipo de magnetofonos, llamados de marcha continua, en que los mecanismos de arrastre están diseñados de forma que puedan efectuarse la grabación y la reproducción en los dos sentidos de marcha de la cinta. En ellos puede efectuarse automáticamente la inversión del sentido de la marcha, a la vez que el cambio de sección de la cabeza en servicio, con lo que puede realizarse la grabación de las dos pistas en forma continua y sin que apenas se note la discontinuidad.

En los antedichos magnetofonos de marcha continua —digamos de paso que son adecuados en los casos en que se precisa gran número de horas de música o palabra repitiendo varias veces lo mismo, como puede ocurrir en grandes almace-



Grabación en cuatro pistas. a) Distribución de las pistas en la cinta. b) Situación de las cabezas. c) Grabación de la pista 1. d) Inversión de los carretes y grabación de la pista 4. e) Nueva inversión de los carretes y cambio de cabeza. Se graba la pista 3. f) Inversión de los carretes de grabación de la pista 2. g) Reproducción de las pistas 1 y 3. h) Inversión de los carretes y reproducción de las pistas 2 y 4.

nes donde se alterna la música con información comercial, para propaganda, etc.— la inversión del sentido de la marcha se lleva a cabo por mediación de la misma cinta en la siguiente forma: la cinta —o el trozo de cinta que contiene la información que se desea repetir— se corta y se pegan en sus extremos sendos trozos de cinta especial que no tiene propiedades magnéticas, pero en cambio la particularidad de ser conductora. Cuando se ha reproducido toda la pista 1 y empieza a desenrollarse, este trozo de cinta especial pone en contacto dos puntas metálicas que actúan como interruptor de inversión de marcha y, por supuesto, de sección de cabeza en servicio. De esta forma empieza automáticamente la lectura de la pista 2; al finalizar la lectura el trozo de cinta especial del otro extremo lleva a cabo la misma función y comienza de nuevo la reproducción de la pista 1.

Contactos que invierten el sentido de la marcha

REQUISITOS QUE DEBEN EXIGIRSE DE UN MAGNETOFONO

Antes de enunciar estos requisitos debemos precisar que aquí nos referimos a magnetofonos destinados a formar parte de un equipo de alta fidelidad no profesional; o sea que éstos no son los requisitos que debe cumplir, por ejemplo, el equipo de magnetofonos de una casa grabadora de discos o de una emisora de radio o televisión, ni tampoco los magnetofonos —los llamados de forma adecuada grabadores magnéticos— de las máquinas de cálculo o de la industria en general, que llevan a cabo funciones que no tienen ni remoto parecido con la reproducción de música. Quede, pues, sentado que nos referimos a los magnetofonos destinados a la reproducción musical de una calidad adecuada para poder reproducir en alta fidelidad.

Aclarado este punto, podemos dar como requisitos más importantes en este sentido los siguientes:

1. Que la velocidad de arrastre de la cinta sea constante. La variación máxima permisible ha de ser del orden del 0'4 por 100.

2. La cinta ha de avanzar a más de una velocidad. En el caso de dos velocidades éstas serán 19 y 9'5 cm/seg. Mejor será que el magnetofono posea tres velocidades; en este caso se añade a las anteriores la de 4'75 cm/seg.

3. Los mecanismos de arrastre habrán de ser lo más sólidos posible para que puedan proporcionar las anteriores cualidades y mantenerlas.

4. El motor de arrastre debiera ser síncrono.

5. El rebobinado de la cinta debe llevarse a cabo con la mayor velocidad; son deseables las unidades que puedan efectuarlo en los dos sentidos.

6. El paso de unas operaciones a otras debe llevarse a cabo de la forma más simple. Es muy adecuado el sistema por teclas o pulsadores.

7. El paro y arranque de la cinta en las operaciones de grabación y registro ha de poder llevarse a cabo en forma muy rápida.

Hasta aquí las cualidades mecánicas más importantes a tener en cuenta. Señalaremos ahora las electromagnéticas:

1. Entradas adecuadas para poder efectuar la grabación mediante micrófono, radio y tocadiscos, con la igualación de impedancias requerida.

2. Alcance de frecuencia que abarque la gama 20-20.000 ciclos a la velocidad máxima. Cuando la fuente de programa no precise de toda la banda, puede emplearse una velocidad inferior y así aumentar el tiempo de grabación de la cinta.

3. Es conveniente que cada entrada disponga de dos conexiones para señales de diferente nivel.

4. Las frecuencias de polarización y borrado han de ser lo más elevadas posible.

5. La distorsión total ha de ser inferior al 2 por 100.

6. La relación señal-ruido debe ser lo más elevada que se pueda. Resulta adecuada si se mantiene a un nivel inferior a —45 db.

7. Como en la parte mecánica, todas las operaciones deben realizarse mediante conmutadores, ya sean rotativos o de teclado.

CIRCUITOS ELECTRICOS DE UN MAGNETOFONO

Hasta el momento sólo hemos hablado de la parte mecánica y electromecánica del magnetofón. Para que ésta funcione son necesarios unos elementos eléctricos que alimenten las bobinas de las cabezas y otros que accionen el motor o motores. Todos estos elementos eléctricos constituyen los circuitos que contiene el magnetofón.

Para accionar el sistema de arrastre basta con alimentar su motor o motores. Como esos motores son siempre de corriente alterna basta con que exista una línea que los conecte al sector, directamente si funcionan a su misma tensión o a través de un transformador si esa tensión es diferente. En el caso de que se precisen varias tensiones para estos motores (sistemas con dos o más motores en los que hay motores asíncronos que deben girar a diferente velocidad según las operaciones que se realicen en el magnetofón) basta con disponer de un secundario con varias tomas.

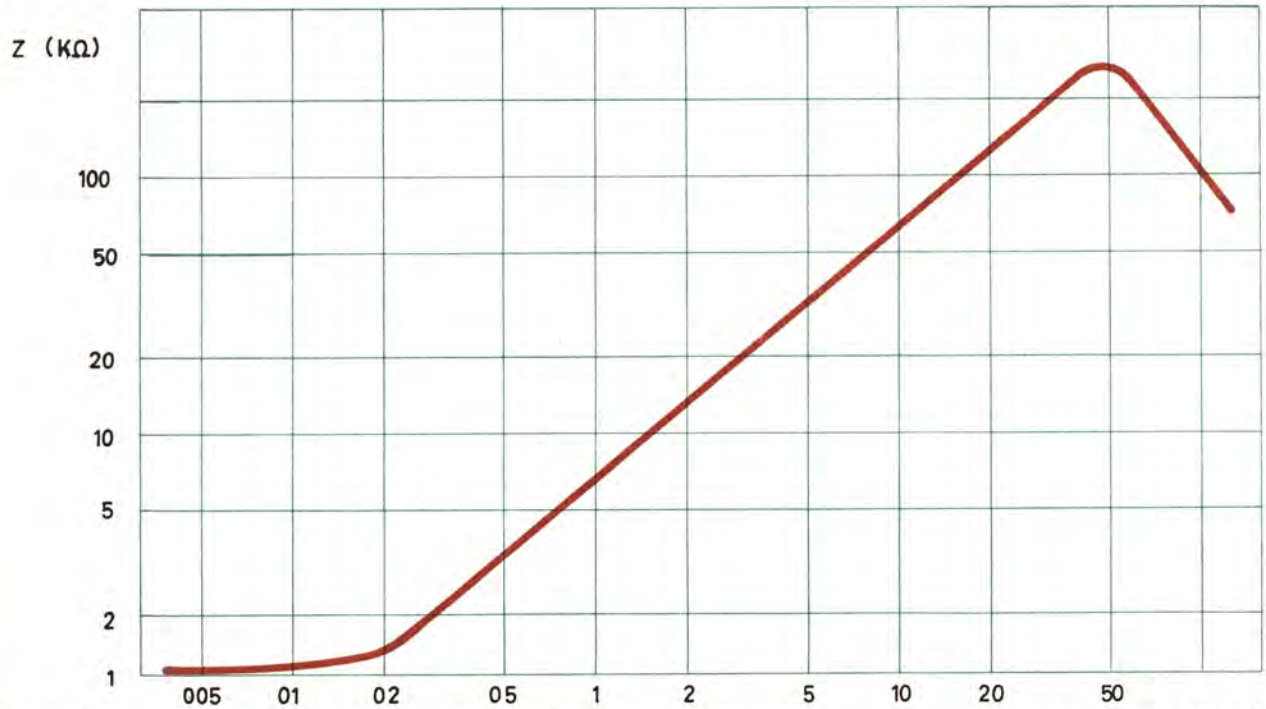
Para alimentar las bobinas de las cabezas existen circuitos correspondientes a la amplificación de registro, amplificación de reproducción y al circuito oscilador de polarización y borrado, que en lo que sigue describiremos brevemente.

Amplificador de grabación

Su misión es amplificar las tensiones que den los elementos transductores que se empleen lo suficiente como para que puedan aplicarse a la bobina de la cabeza de registro, debidamente mezcladas con la corriente de preimantación.

Para dicha finalidad puede emplearse cualquier amplificador de baja frecuencia, siempre que en él se encuentre, en una etapa previa o intermedia, la posibilidad de insertar un filtro que actúe de igualador para compensar las pérdidas diferentes que tienen lugar en cada valor de la frecuencia en la propia cabeza y la posible falta de linealidad de ésta. Este filtro depende de la velocidad de la cinta.

Un detalle importante es que para el amplificador de grabación la carga está constituida por la cabeza, que en definitiva no es más que una inductancia y que por tanto presenta una impedancia que varía con la frecuencia entre límites muy amplios. Por otra parte, no debe olvidarse que el magnetismo remanente en la cinta depende exclusivamente de la *intensidad* que circula por la cabeza; de manera que el paso de salida del amplificador debe trabajar como amplificador de intensidad, lo cual significa que su resistencia interna debe estar siempre muy por encima de la impedancia de carga cualquiera que sea la frecuencia de trabajo.



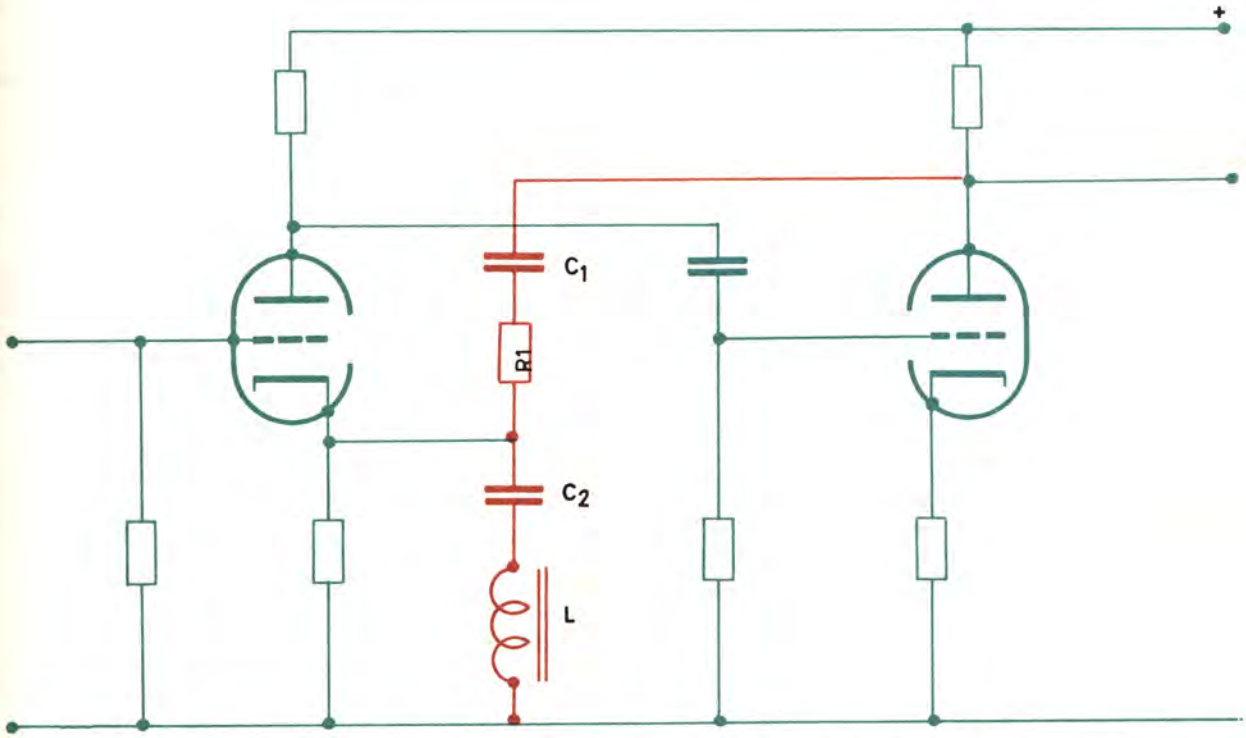
La impedancia de la cabeza de grabación varía grandemente con la frecuencia.

Pensemos en que las válvulas pentodo tienen gran resistencia interna, valor que generalmente es adecuado frente a la impedancia de la cabeza. Por este motivo casi siempre se emplean pentodos en las etapas finales de estos amplificadores a pesar de que la potencia que se precisa no es muy elevada.

La corrección para la igualación se lleva a cabo mediante un filtro que puede estar situado en diferentes puntos del amplificador y constar de elementos muy diversos. En la figura puede verse un filtro corrector de este tipo insertado entre dos triodos del amplificador de tensión, que funciona mediante una realimentación selectiva por cátodo.

El funcionamiento de este filtro es el siguiente: la tensión alterna de placa del segundo triodo se aplica mediante C_1 y R_1 al cátodo del primer triodo; pero esta línea está conectada a masa en serie con un condensador y una inductancia. Si el condensador C_2 es lo bastante grande, las bajas frecuencias lo atravesarán con poca dificultad, y con menos todavía atravesarán la inductancia para ir a parar a masa; por tanto no son realimentadas y en consecuencia merma su amplificación. Las frecuencias altas atraviesan C_2 con facilidad; pero la autoinducción les presenta una impedancia muy elevada, por lo que son realimentadas, y en consecuencia su amplificación, como las que se emplean en los preamplificadores.

Estos amplificadores siempre van acompañados de una válvula indicadora del nivel de registro para evitar, mediante la acción de los controles de volumen adecuados, que se sobrepase la cresta de imantación.



Filtro corrector para el amplificador de grabación.

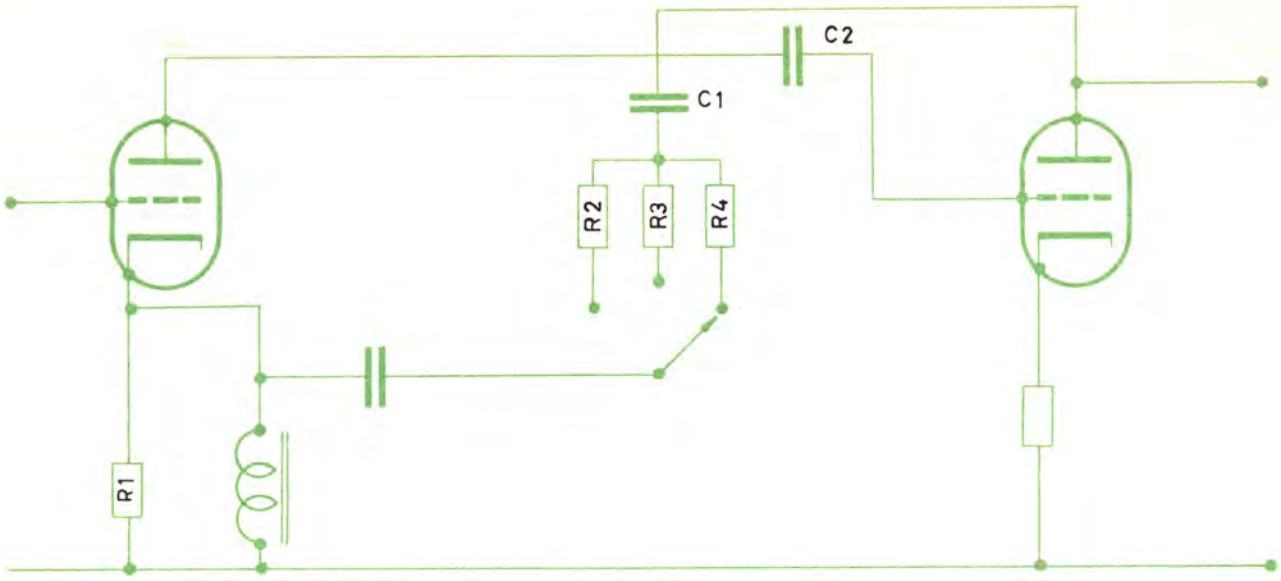
Amplificador de reproducción

Este amplificador tiene la misión de amplificar las tensiones que se inducen en la cabeza lectora y corregir, aplanándola, la respuesta de la cabeza.

El amplificador de reproducción es, pues, un amplificador normal de baja frecuencia con la única particularidad de llevar incorporado un filtro para compensar la elevación de la respuesta de la cabeza en la zona de las altas frecuencias.

Un tipo de filtro adecuado para tales amplificadores es el que se representa en la figura, que como puede ver es del mismo tipo que el filtro del amplificador de registro; por tanto funciona de la misma forma, con la diferencia de que aquí existen para el filtro tres posiciones correspondientes a cada una de las velocidades de registro, ya que la acentuación de las frecuencias altas depende de esta velocidad.

No existe otra particularidad que señalar en este tipo de amplificadores.



Filtro corrector para el amplificador de reproducción. (No se han representado las resistencias de carga ni las de escape de rejilla.)

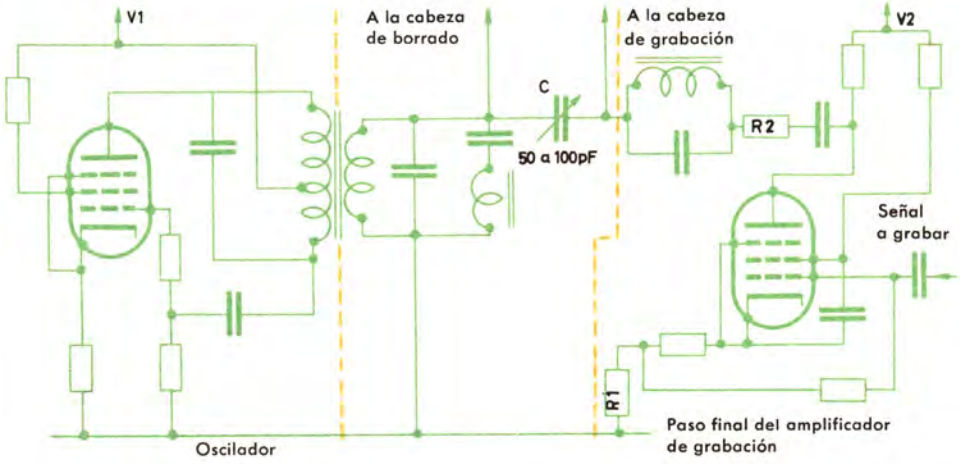
Amplificador combinado registro-reproducción

En gran número de los magnetofonos destinados a la reproducción en alta fidelidad no profesional, un solo amplificador lleva a cabo las dos anteriores operaciones de amplificación.

Cuando se emplee uno de estos conjuntos amplificadores tiene que dotársele de elementos de conmutación para adaptar cada uno de los componentes a la función que en cada instante deba desempeñar.

Existe un cambio en las funciones de alguno de los elementos del amplificador que es general en todos los sistemas combinados de este tipo: la etapa de potencia del amplificador de reproducción por lo general se emplea como etapa osciladora en el registro, mientras las etapas de amplificación de tensión continúan en el registro con las mismas funciones que en la reproducción.

Oscilador de alta frecuencia



He aquí un ejemplo de cómo suelen relacionarse el oscilador y el paso final del amplificador de grabación. La señal del oscilador se aplica directamente a la cabeza de borrado y se mezcla con la señal a grabar a través del condensador C de pequeña capacidad. Las resistencias R_1 y R_2 aumentan la resistencia interna del paso final del amplificador de grabación.

El oscilador de un magnetofono tiene la misión de suministrar la corriente de preimantación durante el registro y la de borrado cuando se realice esta operación.

En el borrado, especialmente, se precisa elevada potencia en alta frecuencia, por lo que esta etapa osciladora ha de estar constituida por una válvula de potencia, por ejemplo, un pentodo o tetrodo de salida.

Los osciladores utilizados pueden ser de diferentes tipos, aunque todos quedan encuadrados en dos o tres básicos.

Puede utilizar como elemento oscilador un circuito LC con readmisión por rejilla para obtener la oscilación de la válvula. En algunos tipos la propia inductancia del bobinado de la cabeza borradora actúa de inducción en el circuito tanque LC.

Existe otro tipo de oscilador en contrafase con dos válvulas triodo que tiene la importante particularidad de suprimir los armónicos pares de la corriente de alta frecuencia que suministra.

Las características esenciales del oscilador son la potencia que debe suministrar en el borrado y la frecuencia de trabajo. La potencia en el borrado suele ser del orden de unos 3 W; la frecuencia está comprendida entre 50 y 90 kilociclos, siendo preferible cuanto más alta.

EL MAGNETOFONO EN EL EQUIPO DE ALTA FIDELIDAD

Si un sistema de alta fidelidad tiene un magnetofono, es probable que quien los disfrute prefiera aprovechar el amplificador del sistema que posee como amplificador del magnetofono en vez de comprar un magnetofono completo que lleve incluido este amplificador.

En este caso se adquirirá tan sólo la parte mecánica del magnetofono, con la cabeza desprovista del circuito electrónico alguno. Existen en el mercado numerosos tipos de pletinas destinadas a este fin con calidades y cualidades para satisfacer todas las exigencias.

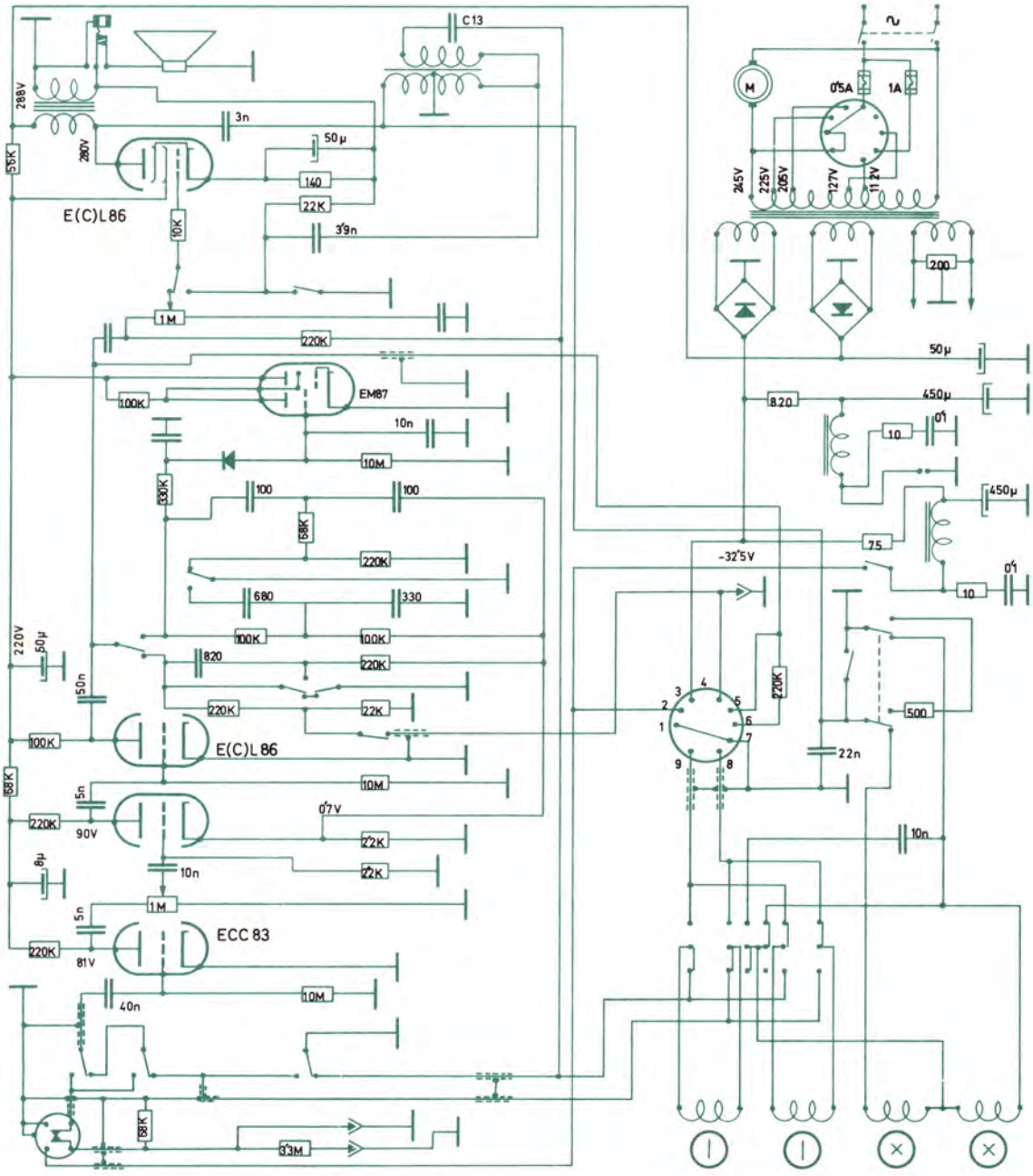
Para efectuar la adaptación de la pletina de grabación al amplificador de que se disponga hay que tener en cuenta que, a pesar de que en el amplificador exista una entrada que se diga que es adecuada para cinta, la cabeza de reproducción no puede conectarse directamente a ella porque la señal que suministra es demasiado débil para excitar el amplificador. Para poder adaptarla se precisa una amplificación previa de la señal procedente de la cabeza lectora, amplificación que se efectuará lo más cerca que se pueda de la pletina y mediante una válvula adecuada, que puede ser una cualquiera de las que se emplean como primera etapa en los amplificadores (ECC83, EF86, etcétera) por ser estas válvulas especiales de bajo nivel de ruido.

También debe tenerse en cuenta que la característica de salida de la cabeza lectora no es plana y que por tanto hay que prever una igualación en la amplificación, la que es recomendable se lleve a cabo en esta etapa previa. El fabricante de la pletina casi siempre indica cuál ha de ser la característica de igualación de este circuito junto con un esquema adecuado para conseguirla. Como las tensiones que se manejan son suma-

mente pequeñas habrá que cuidar con especial atención la calidad de los componentes de estos circuitos, así como la longitud de las conexiones, con el fin de evitar cualquier fuente de zumbido.

El borrado y la corriente de polarización han de obtenerse, debido a la potencia que se precisa para estas operaciones, mediante pentodos o tetrodos de potencia. Un circuito adecuado para el oscilador es el que se da en la figura.

Estos circuitos han de estar provistos de un ajuste para adaptar la corriente de polarización a cada tipo de cinta, puesto que es un factor determinante para la relación señal-ruido y la distorsión total del aparato.



He aquí el esquema completo de un magnetofono S.R.B./B-7. Se trata de un magnetofono de cuatro pistas con amplificador combinado de registro-reproducción. La parte pentodo de la ECL86 actúa como paso de salida durante la reproducción y como oscilador durante la grabación y el borrado.
El ojo mágico EM87 controla durante la grabación el nivel de la señal a fin de no saturar la cinta.

SINTONIZADORES

Los sintonizadores constituyen otra fuente de programa para los equipos de alta fidelidad que, siguiendo el orden que nos hemos propuesto, tenemos que estudiar.

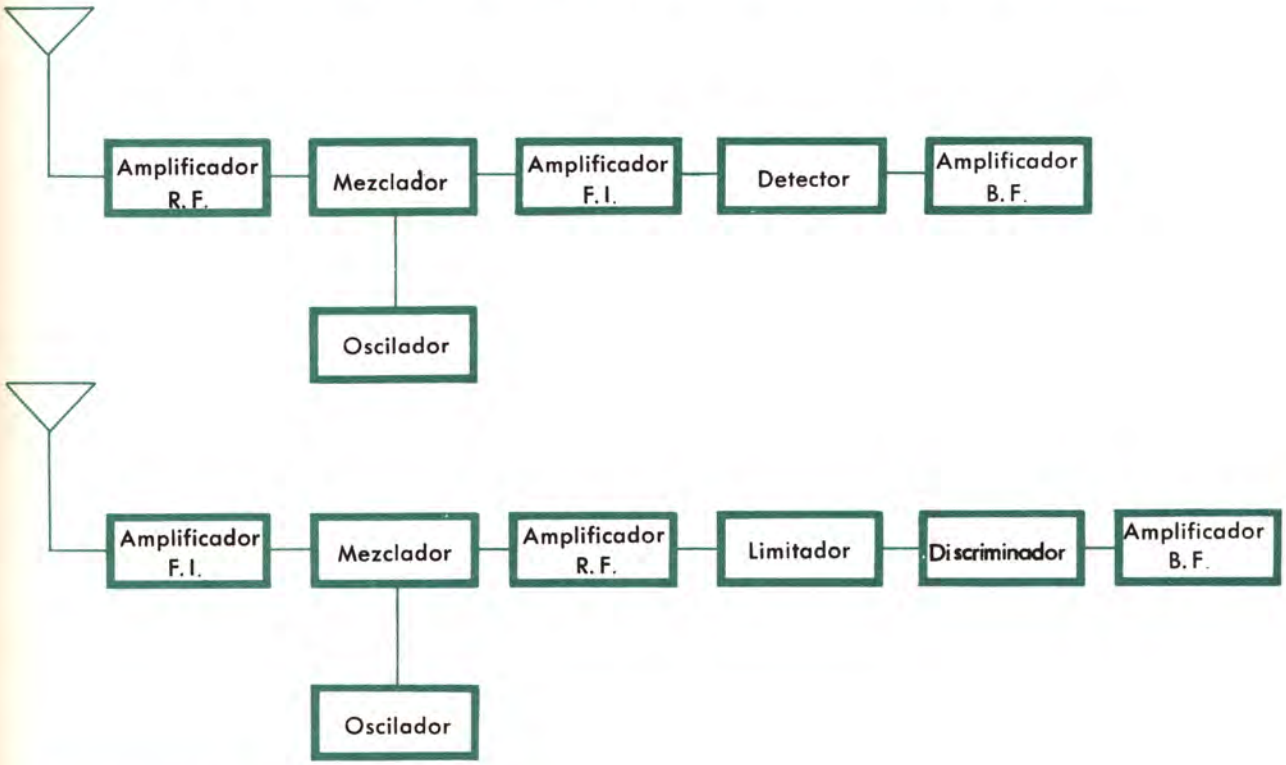
Sabemos muy bien cuál es el funcionamiento de un radiorreceptor en sus modalidades AM y FM, las etapas necesarias en cada tipo y las funciones que cada una de ellas ha de llevar a cabo.

Recordemos que la última etapa de cualquiera de estos aparatos era la de baja frecuencia que constituye los circuitos que enlazan el detector con el altavoz en los aparatos de AM, y el discriminador o detector de relación con el altavoz en los aparatos de FM. Esta etapa no era más que un amplificador de baja frecuencia.

Habida cuenta de que en el equipo de Hi-Fi se tiene esta etapa amplificadora de baja frecuencia, constituyendo el alma del equipo, ¿por qué no aprovecharla si deseamos tener un radiorreceptor? En estas condiciones, para completar el radiorreceptor sólo precisamos disponer de las etapas anteriores a la baja frecuencia. Pues bien: estas etapas anteriores a la baja frecuencia son las que constituyen el sintonizador.

El sintonizador en un equipo de Hi-Fi no es, pues, otra cosa que la parte de un receptor comprendida entre la antena y la baja frecuencia, única que se precisa para completar el radiorreceptor.

Existen diversos tipos de sintonizadores en sus modalidades AM y FM y en unidades combinadas AM/FM. En lo que sigue nos ocuparemos de describirlas, prestando atención únicamente a los detalles que conciernen a la alta fidelidad.



SENSIBILIDAD Y SELECTIVIDAD

Estos términos son muy empleados en radiorrecepción. Interesa, en consecuencia, comprender con claridad el significado de ambos.

Entendemos por sensibilidad de un radiorreceptor la propiedad que tiene de poder funcionar con un determinado nivel de señal en la antena. Dicho de otra forma: la emisora lanza al espacio unas ondas moduladas de determinada intensidad, que inducen en la antena del receptor unas tensiones que constituyen la señal que el radiorreceptor ha de amplificar, detectar, amplificar en baja frecuencia y reproducir.

Estas señales que accionan el aparato de radio dependen de la potencia de la emisora, de la distancia a que se encuentre y del tipo de antena receptora que se emplee. Una vez llegadas al recep-

tor se aplican a la rejilla de la primera válvula. Ahora bien, esta válvula precisa una tensión mínima para poder trabajar en buenas condiciones; es decir, precisa que la antena le suministre una intensidad mínima de señal, por debajo de la cual la relación señal-ruido es muy desfavorable.

La intensidad de señal que precisa el aparato depende, como es lógico, de su diseño (en especial el número de etapas amplificadoras). En consecuencia, algunos radiorreceptores precisan niveles de señal muy superiores a las que son necesarios en otros.

La sensibilidad de un aparato hace referencia a la intensidad de esta señal. Un radiorreceptor es tanto más sensible cuando más débil pueda ser la señal que deba llegarle para que funcione con buena relación señal-ruido.

La selectividad de un aparato es su poder de discernimiento entre las distintas emisoras, o sea la propiedad que tiene de recibir cada emisora separada de las que emiten con frecuencias próximas.

Esta selectividad depende en gran manera del ancho de banda del amplificador de frecuencia intermedia (en lo que sigue le designaremos por F.I.), como tendremos ocasión de ver.

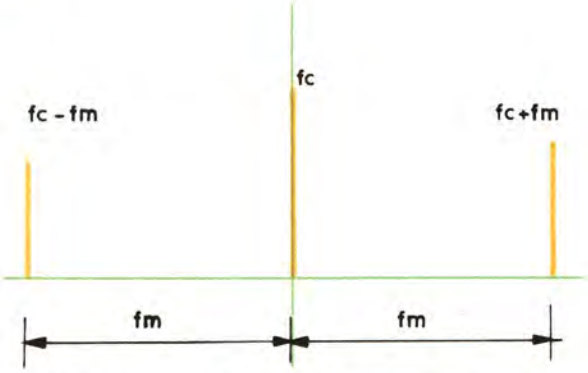
Existen muchos sintonizadores que pueden variar la banda pasante de su amplificador de F.I. mediante el accionamiento de un control especial llamado de selectividad.

Consideraciones sobre la banda pasante de un sintonizador

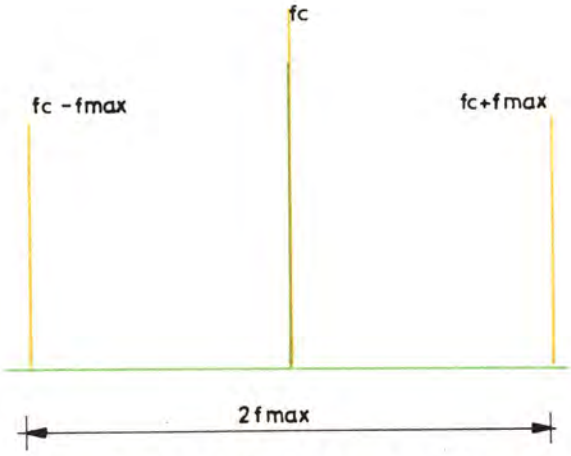
Hemos de considerar compuesta de dos partes toda señal que llegue procedente de una emisora: la correspondiente a la portadora y la correspondiente a la modulación.

Al modular en amplitud con una frecuencia f_m la portadora de frecuencia f_c, se obtiene una onda, cuya forma conocemos ya sobradamente, la que analizada indica la presencia de tres ondas simples: una de frecuencia f_c, otra de frecuencia $f_c + f_m$ y una última frecuencia $f_c - f_m$. Es decir, que al modular la f_c con cualquier frecuencia f_m aparecen además de la f_c dos frecuencias simétricas respecto a ella y separadas de la misma en un intervalo igual a f_m.

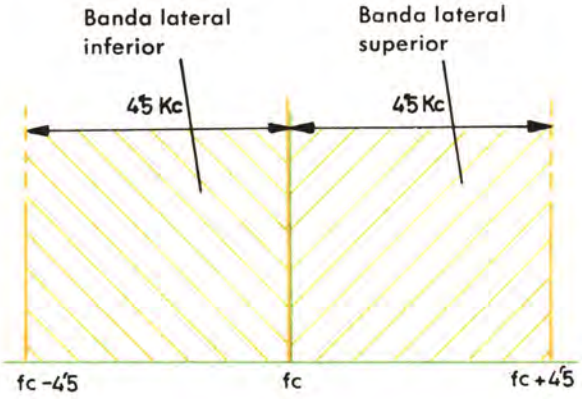
Según las especificaciones, las estaciones emisoras en AM pueden transmitir información siempre que no exceda de 4'5 Kc. Es decir, las frecuencias a modular en la portadora quedan a 4500 ciclos por segundo limitadas en la región de los agudos.



Si la frecuencia más elevada que puede transmitirse es f_{max}, el resultado de modular cualquier frecuencia dará ondas comprendidas en el intervalo $f_c - f_{max}$, $f_c + f_{max}$.



Al modular una portadora f_c con una frecuencia f_m, aparecen tres frecuencias: f_c, $f_c + f_m$ y $f_c - f_m$.



Como en radiodifusión $f_{max} = 4'5$ Kc/s, el espectro de modulación de cada emisora ocupa un ancho de 9 Kc/s.

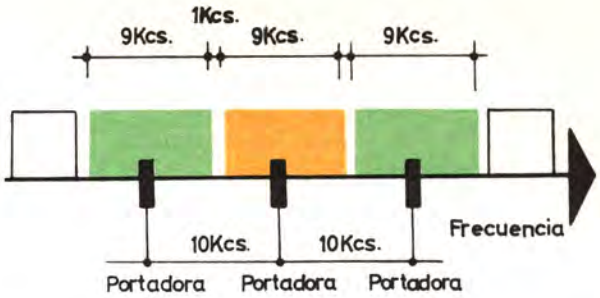
Al modular la portadora con esta frecuencia máxima f_{max} de 4'5 Kc resultan dos frecuencias $f_c + f_{max}$ y $f_c - f_{max}$, límites entre los cuales quedan todas las resultantes de modular la portadora con cualquier audiofrecuencia inferior a f_{max}. Por tanto, para emitir la información audiofrecuente la emisora precisa una banda dentro del espectro de emisión de 2 f_{max} = 9 Kc, resultado de la suma de dos bandas, una a cada lado de la f_c, de anchura f_{max}. Estas bandas son las llamadas bandas laterales.

Como consecuencia de lo anterior, en AM la separación mínima entre las portadoras de dos emisoras debe ser igual a 2 f_{max} = 9 Kc con el fin de que no interfieran entre sí; la banda asignada a cada emisora será igualmente de 9 Kc, si bien en la práctica el margen se hace algo mayor e igual a 10 Kc/s.

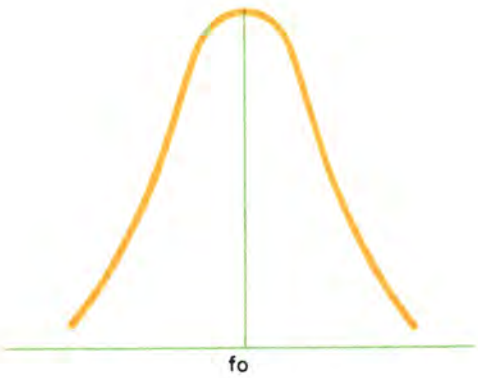
Cuando se sintoniza una emisora se pretende recibir toda la información que transmite, para lo que debe estarse en disposición de reproducir toda su banda, requisito que se satisface si la banda pasante del sintonizador es como mínimo de 9 Kc.

La banda ideal, pues, para el sintonizador de AM es de 9 Kc; pero pretendemos todavía más, y es que dentro de esta banda la respuesta del sintonizador sea plana. O sea, que para una señal de cualquier frecuencia comprendida entre $f_c + f_{max}$ y $f_c - f_{max}$ que tengan una misma intensidad queremos que el sintonizador dé una salida de la misma tensión.

Esto sólo puede conseguirse si, además de tener 9 Kc la banda del sintonizador dentro de este intervalo, la característica de respuesta de la unidad es de forma rectangular; pero por desgracia esta respuesta ideal no puede obtenerse en la práctica.

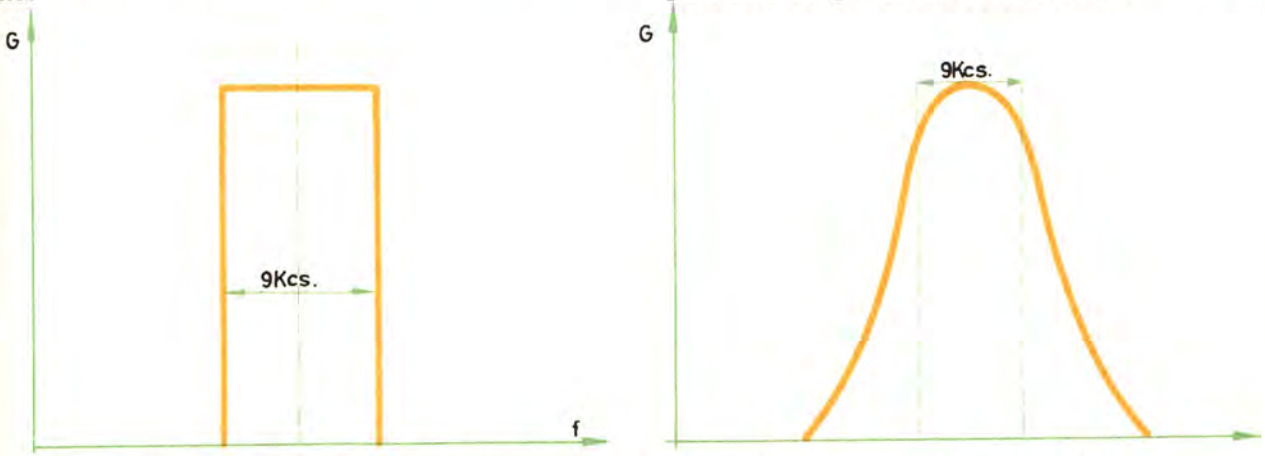


He aquí cómo aparecen distribuidas las portadoras de las emisoras de onda media y el intervalo de frecuencia ocupado por los respectivos espectros de modulación.



Respuesta de un circuito sintonizado a la frecuencia f_o.

En los sintonizadores, la amplificación se consigue mediante pasos sintonizados con acoplamiento inductivo. La curva de respuesta de un circuito sintonizado es del tipo que se indica en la figura adjunta, y por tanto bastante diferente de la respuesta ideal que se desearía obtener.



Curvas de respuesta ideal y real de un sintonizador. Superponiendo las curvas de respuestas real e ideal de un sintonizador se advierte que con un ancho de banda 9 Kc/s existe peligro de interferencia. Algunos sintonizadores poseen un control de selectividad con el que se restringe el ancho de banda (línea de puntos).

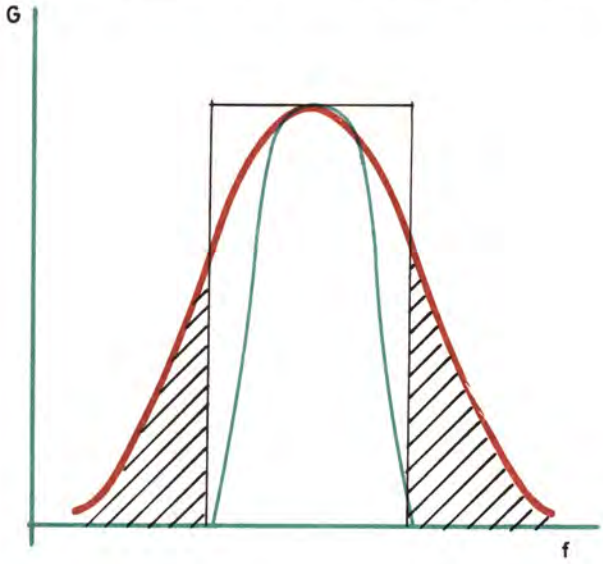
Mediante la combinación de varios circuitos sintonizados puede conseguirse que la respuesta global se acerque más a la ideal, pero desde luego no podrá llegarse a igualarla. En la figura pueden verse las curvas de respuesta ideal de un sintonizador de AM. Observe que si se quiere recibir toda la banda de la emisora sintonizada, también se introducen con ella las señales procedentes de las emisoras contiguas que queden dentro de la zona rayada. Para evitar este inconveniente en algunos sintonizadores está presente un control de selectividad que tiene la misión de variar la banda del sintonizador; y así, según las circunstancias, poder conseguir que ésta sea la necesaria para obtener la recepción de toda la información emitida por la emisora sintonizada o mutilarla en parte.

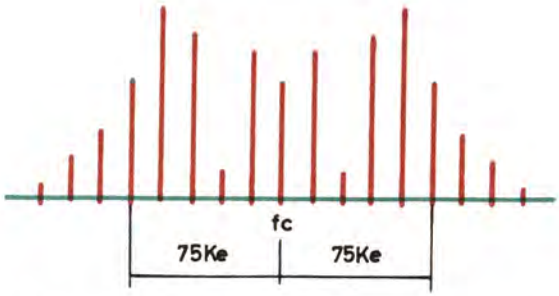
Con lo anterior quedan expuestos los problemas que se plantean al intentar hacer compatibles una gran selectividad del aparato y una buena respuesta.

En FM estos problemas presentan un aspecto bastante diferente. En FM la frecuencia de la onda portadora varía proporcionalmente a la intensidad de la señal modulada; estas variaciones de frecuencia se repiten a intervalos de tiempo iguales al período de la onda moduladora.

El resultado es, como sabe por lecciones anteriores, que con una excursión de frecuencia de ± 75 Kc/s el espectro de modulación se extiende en un intervalo de unos 225 Kc/s; ése es el ancho de banda que debe tener un sintonizador de FM si no se quiere mutilar parte de la información.

La banda audiofrecuente que puede emitirse en FM alcanza los 15 Kc, por lo que las posibilidades de fidelidad resultan muy superiores a las del sistema de A.M.





Resultado de modular en frecuencia una onda f_c con una f_m = 15.000 c/s, siendo la desviación máxima 75 Kc. Obsérvese que fuera del intervalo limitado por los ± 75 Kc existe todavía información.

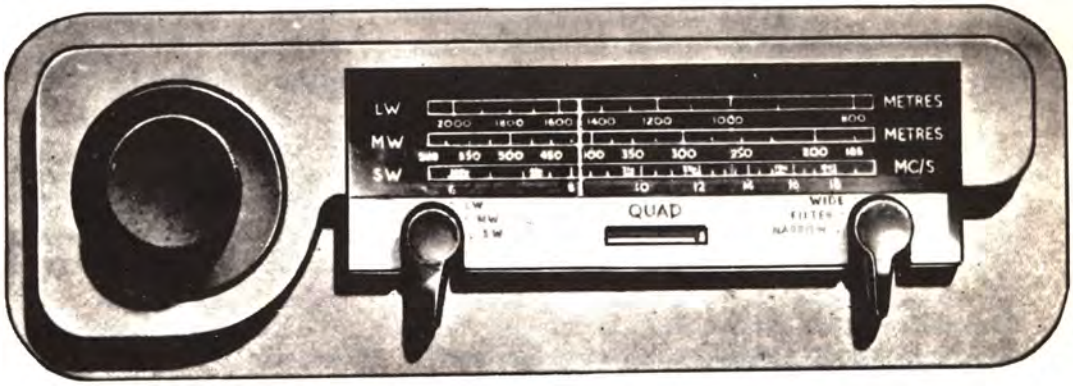
SINTONIZADORES DE HI-FI

Si, como hemos dicho, un sintonizador no era más que la parte de un radiorreceptor constituida por los circuitos comprendidos entre la antena y la baja frecuencia, cabría preguntar: ¿qué diferencia existe entre un sintonizador de Hi-Fi y la parte correspondiente de un aparato de radio cualquiera?

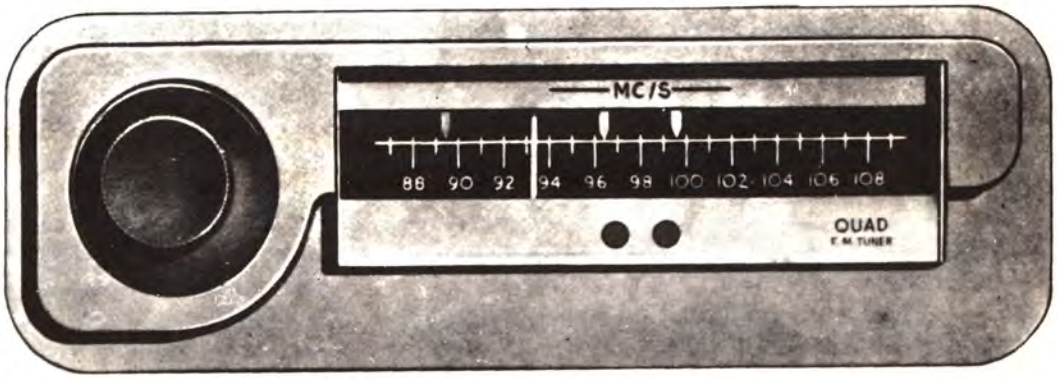
Quizá alguien respondería con ironía que la diferencia está en el precio y desde luego tendría razón. Pero existen otras diferencias mucho más importantes para nosotros que ésta puramente económica. En efecto, si profundizamos un poco en el aspecto técnico y comparamos un sintonizador Hi-Fi con la parte de sintonía de un radiorreceptor casero, nos daremos cuenta de que son bastantes las diferencias y que si se ponderan en conjunto casi siempre justifican esta diferencia de precio.

Tampoco debe creerse que un sintonizador de alta fidelidad está concebido de forma diferente a la parte de sintonía de un radiorreceptor casero; todo lo contrario, las etapas básicas son las mismas. La diferencia estriba en esencia en la calidad de los materiales empleados, en el cuidado del armado y disposición de las piezas y en que casi siempre acompañan a estos sintoniza-

dores algunos circuitos que podríamos convenir en llamar extras, de los que nos ocuparemos como labor básica. Pueden ser, por ejemplo, una etapa amplificadora de radiofrecuencia, control de selectividad, una etapa más de F.I., etc.; modificaciones fácilmente diferenciables de las partes correlativas de un aparato casero. Existen, sin embargo, en los sintonizadores de Hi-Fi otras diferencias no tan fáciles de localizar y que casi nos atreveríamos a afirmar que son las más importantes. Por ejemplo, un sintonizador de Hi-Fi, al igual que todo aparato de un equipo de alta fidelidad, si merece tal categoría no puede ser labor de una puesta a punto en serie.



Sintonizador de Hi-Fi para AM de la marca Quad.



Sintonizador de Hi-Fi para FM de la marca Quad.

Aclaremos esto: en la fabricación de un radiorreceptor la fase final consiste en el alineado del amplificador de F.I. y ajuste de las bandas de radiofrecuencia. No suele tenerse en cuenta si la sensibilidad se mantiene constante en toda la gama de recepción y la selectividad es la estrictamente necesaria, el grado de distorsión introducido en las señales, etc., y ello porque en estos aspectos se admiten tolerancias bastante amplias. Después de haber efectuado estas operaciones la puesta a punta del aparato fabricado en serie ha terminado; como puede deducirse, esta puesta a punto se realiza en serie.

En cambio, si la puesta a punto se lleva a cabo en un sintonizador de Hi-Fi el ajuste no es lo único a tener en cuenta; hay que cuidar además de que todas las válvulas trabajen en el punto que indica el diseño, que las tensiones sean correctas, que la ganancia de cada etapa sea la calculada, que no exista inducción alguna apreciable entre las diferentes partes del aparato, etc. De no cumplirse todos y cada uno de estos requisitos hay que encontrar el porqué y subsanar la causa. Este es el trabajo que representa la puesta a punto del sintonizador de Hi-Fi, que como fácilmente puede apreciarse puede consistir en una labor metódica o en un trabajo más o menos mecánico, pero nunca en un trabajo en serie.

Aquí es donde existe la mayor diferencia: en el cuidado del detalle. Aquí es donde se establece la frontera entre las unidades de Hi-Fi y las que no pueden considerarse como tales. En estos detalles, incluso más que en la calidad de los materiales, puesto que podría decirse que con materiales de calidad standard, si se cuidan todos los detalles enunciados, pueden obtenerse mejores resultados, o por lo menos tan buenos, como con materiales de excelente calidad si la puesta a punto final no se ha llevado a cabo a conciencia.

Concluimos, pues: la diferencia entre la parte de sintonía de un radiorreceptor doméstico y un sintonizador de Hi-Fi no estriba en la constitu-

ción básica del diseño, a pesar de que en el sintonizador de Hi-Fi existan algunos extras, sino en el cuidado con que se lleven a cabo algunas operaciones finales y ciertos detalles de montaje. Aún más, aunque sea arriesgado decirlo, nos atrevemos a afirmar que los elementos de sintonía de un buen radiorreceptor podrían emplearse como sintonizador de alta fidelidad con algunos cuidados, como cuidar la polarización correcta de las válvulas, elegirlas de forma que no se aparten más que en un pequeño porcentaje de las características tipo, procurar eliminar toda fuente de zumbidos (emplear cables blindados, blindar el transformador, soldaduras bien hechas, buenos contactos a masa y colocados en puntos adecuados), filtrar y estabilizar con todo esmero la tensión de alimentación y finalmente el ajuste correcto. Si alguien dispone de medios para llevar a cabo correctamente todas estas operaciones en un radiorreceptor común, que las realice y comprobará la diferencia que existe en la calidad del aparato entre antes y después.

Sin embargo, tampoco hay que exagerar en este sentido; no porque sea posible llevarlo a cabo todos los sintonizadores de Hi-Fi han de ser refundiciones de la parte de alta frecuencia de los radiorreceptores caseros. Existen muchos sintonizadores de Hi-Fi en los que, además de este cuidado en los detalles, hay circuitos complementarios que constituyen mejoras innegables, pudiendo en algunos casos obtener resultados formidables, por otra parte inaccesibles a la sintonía normal de un radiorreceptor por cuidada que sea, ni incluso al sintonizador de Hi-Fi poco elaborado.

Existen, pues, dos tipos esenciales de diferencias entre el sintonizador de Hi-Fi y la parte de sintonía de un radiorreceptor casero. Por una parte, esmero en cuidar ciertos detalles constructivos; por otra, la presencia en estas unidades de algunos circuitos de los que hemos convenido en llamar extras.

Para estudiar los sintonizadores de Hi-Fi, puesto que ya conoce a la perfección el funcionamiento del aparato de radio común, nos limitaremos a estas diferencias, poniendo especial atención en los circuitos complementarios.

SINTONIZADORES DE AM. - COMPARACION DEL SUPERHETERODINO CON EL RECEPTOR DE RADIOFRECUENCIA SINTONIZADA

Hemos dado ya el esquema en bloques de un radiorreceptor superheterodino; recordemos ahora que existe otro tipo de receptor que no emplea la heterodinación. En este aparato la amplificación en alta frecuencia se lleva a cabo en varios pasos de radiofrecuencia sintonizados.

Discutiremos aquí las ventajas e inconvenientes de cada uno de estos sistemas y cuál es el más adecuado en cada servicio.

En el receptor superheterodino la selectividad queda exclusivamente a merced del paso de banda del amplificador de F.I., por lo que si se emplea el control de selectividad bastará en este tipo de sintonizador operar sobre las etapas de frecuencia intermedia. Esta es una gran ventaja del superheterodino.

El superheterodino es por naturaleza más ruidoso y presenta muchas respuestas indeseables que no existen en el receptor de radiofrecuencia sintonizada: la dificultad de la eliminación de las frecuencias imagen; el oscilador puede producir un sonido silbilante que es típico en algunas unidades poco elaboradas; una vez ajustado serán necesarios con el tiempo algunos retoques para compensar el desplazamiento de las características de las válvulas. Todas estas desventajas del superheterodino son imperceptibles en la recepción con señal fuerte, por lo que este sistema es particularmente recomendable en la recepción en AM cuando las señales que desean recibirse sean bastante intensas.

Compárese en un superheterodino la recepción de las emisoras locales con las emisoras algo alejadas; éstas casi siempre están acompañadas de un siseo característico. Este es el sonido típico del oscilador, en la mayoría de ocasiones.

El receptor de radiofrecuencia sintonizada tiene las ventajas de su mayor simplicidad, inferior coste, reducido nivel de ruido, facilidad de alineamiento, ausencia de respuestas indeseables y mayor estabilidad a lo largo del tiempo, de tal manera que las tendencias al desplazamiento son muy inferiores que las del superheterodino. El receptor de radiofrecuencia sintonizada es, pues, por naturaleza de mayor fidelidad que el superheterodino.

Las desventajas más importantes del receptor de radiofrecuencia sintonizada son: dificultad en conseguir que todos los circuitos resonantes de las diferentes etapas amplificadoras sintonicen una misma frecuencia a lo largo de toda una banda, y por tanto variación de la selectividad del aparato con la frecuencia; su sensibilidad, con el mismo número de etapas, es menor que la

del superheterodino, y además esta sensibilidad varía con la frecuencia en el sentido de que desciende cuando ésta aumenta.

De todas estas ventajas e inconvenientes de cada tipo de receptor podemos deducir que el empleo de radiofrecuencia sintonizada es adecuado en casos en que se desee recibir emisoras que lleguen con niveles muy distintos de señal; cuando se desee un receptor de una sola onda, si ésta es la correspondiente a radiofrecuencias bajas, y finalmente cuando se desee un aparato sencillo y de poco coste.

El superheterodino es adecuado cuando las emisoras que se desea recibir lleguen con señal fuerte y cuando se quiera disponer de varias ondas.

Etapa de radiofrecuencia

Vamos a describir las distintas etapas de estos sintonizadores, estudiando en cada una de las particularidades que posee y los cuidados que precisa.

SINTONIZADOR DE AM SUPERHETERODINO

Esta etapa no es indispensable en un superheterodino; prueba de ello es que gran número de sintonizadores no la poseen. Sin embargo, siempre es interesante su incorporación.

La incorporación de una etapa de radiofrecuencia por una parte aumenta la relación señal-ruido y por tanto la hace más favorable. Es muy fácil comprender por qué se mejora esta relación: la válvula conversora es por lo general un heptodo, y por su naturaleza la generación de ruido es bastante considerable. Sabemos, por otra parte, que el ruido total de un sistema depende casi exclusivamente del generado por la primera etapa amplificadora. Si se emplea antes que la conversora una válvula amplificadora de radiofrecuencia, el ruido del sistema es el equivalente a esta válvula; pero esta válvula amplificadora de radiofrecuencia es ahora un pentodo, por su naturaleza mucho menos ruidoso que un heptodo. En consecuencia, el ruido total del sistema es mucho menor.

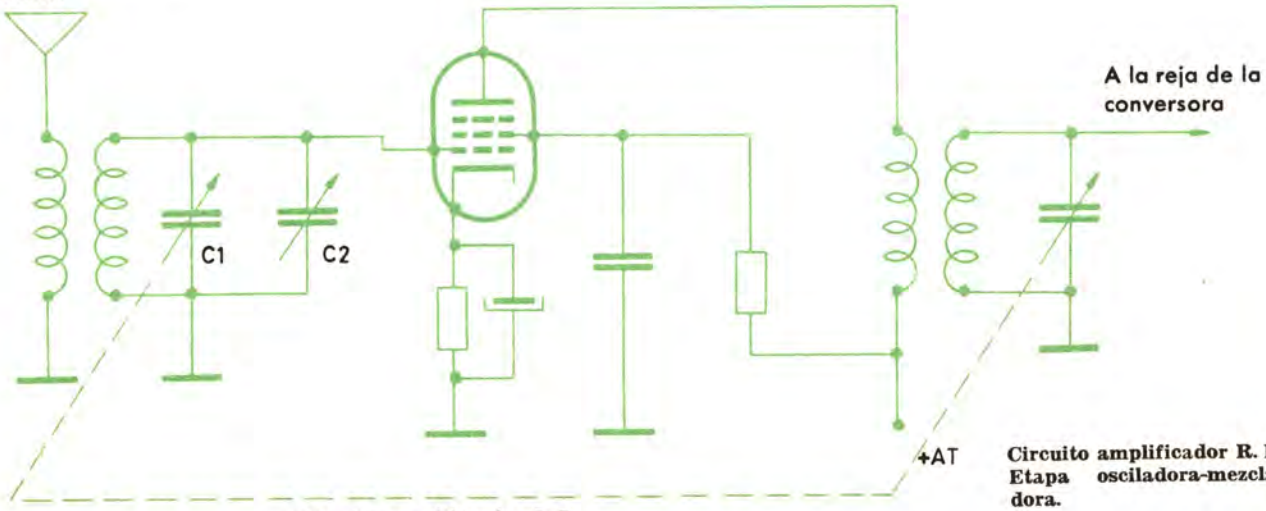
Por otra parte, al emplear una etapa amplificadora más puede recibirse señales más débiles; por tanto aumenta la sensibilidad del aparato.

Otra ventaja de la etapa amplificadora de radiofrecuencia es la de cooperar a la eliminación de la frecuencia imagen.

Estas ventajas de la etapa de radiofrecuencia son particularmente importantes a medida que aumenta la frecuencia. Son especialmente útiles en frecuencias del orden de 10 Mc/s y casi indispensables a partir de 40 ó 50 Mc/s.

En la figura puede ver el esquema básico de una de estas etapas.

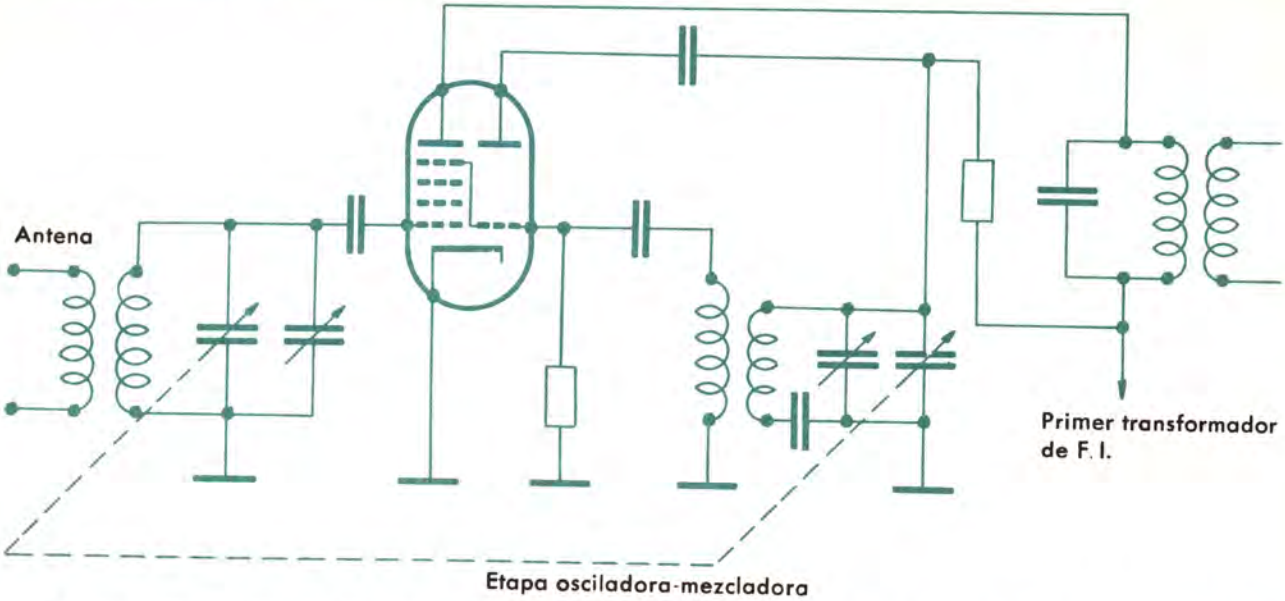
El condensador variable C_1 constituye una sección del tándem, que tiene tres secciones. El condensador variable C_2 es un trimmer de ajuste. Como puede ver, la etapa de radiofrecuencia es un amplificador con circuito LC sintonizado. El paso de banda de esta etapa es bastante mayor que el del amplificador de F.I.



Circuito amplificador R. F.

Circuito amplificador R. F. Etapa osciladora-mezcladora.

Etapa osciladora-conversora



En esta etapa, como sabemos, se lleva a cabo la heterodinación o mezcla de la onda de radiofrecuencia con la generada por el oscilador local, lo que da lugar a la F.I. La frecuencia del oscilador local es siempre superior, en un número de ciclos igual a los de la F.I., a la radiofrecuencia que se recibe por la antena. Hay que tener en cuenta, además, que para que se lleve a cabo la heterodinación es necesario que la válvula osciladora-mezcladora actúe a la vez de detectora. Por este motivo se llama alguna vez primera detectora a la conversora.

Se han diseñado numerosos tipos de etapas conversoras. La mejor para un equipo de Hi-Fi es la que conocemos a base de un heptodo.

En la figura puede verse uno de estos circuitos típicos, que por otra parte no presenta particularidad alguna que no conozcamos ya.

Amplificación de F.I.

La amplificación de F.I. se lleva a cabo mediante una o dos etapas amplificadoras doblemente sintonizadas. Estas etapas se sintonizan a una frecuencia constante —diferencia entre la generada por el oscilador local y la de la señal recibida por la antena—. Al quedar sintonizadas a esta frecuencia las etapas, las demás frecuencias producto de la heterodinación son lo suficientemente atenuadas como para no percibirse.

El mayor porcentaje de amplificación del sintonizador se debe a estas etapas, o sea a la amplificación de F.I.

El resultado que se obtiene en un amplificador de F.I. depende de la calidad de las bobinas empleadas, así como de la del blindaje.

Hemos dicho ya que el paso de banda del sintonizador dependía casi exclusivamente del paso del amplificador de F.I. En éste se consigue el paso de banda adecuado proveyendo a cada transformador de F.I. de un coeficiente de acoplamiento determinado, que se consigue mediante la adecuada ubicación de las dos bobinas que constituyen el primario y el secundario de cada transformador. Una forma de variar el paso de banda del sintonizador, y por tanto su selectividad, consiste en variar este coeficiente de acoplamiento mediante algún medio mecánico que varíe la posición relativa de estas bobinas, o bien mediante la interposición de algún obstáculo que intercepte parte del flujo procedente del primario que llega al secundario.

El ajuste de los pasos de frecuencia intermedia se lleva a cabo fácilmente con la ayuda de un generador, que suministre esta frecuencia, aplicado a la rejilla de control de la válvula conversora, y accionando el tornillo del condensador variable o el núcleo de las bobinas de los transformadores de F.I. hasta conseguir una salida máxima.

Al elegir la F.I. hay que tener en cuenta un factor muy importante: la frecuencia imagen.

Veamos, ante todo, qué es la tan aludida fre-

cuencia imagen. Supongamos que se sintoniza una emisora que emite a una frecuencia $f_s = 1000$ Kc y que sea X la frecuencia intermedia. La frecuencia que debe suministrar el oscilador es $f_o = f_s + X$ para que, como resultado de la heterodinación, resulte $f_o - f_s = X$.

Ahora bien; si a la antena llega una señal de frecuencia $f_i = 1000 + 2X$, ¿qué ocurrirá? Pues, sencillamente, que al mezclarse con la frecuencia del oscilador f_o da lugar, como resultado de la heterodinación de ambas, a una frecuencia igual a su diferencia ($f_i - f_o = X$) que, como vemos, es también igual a la F.I. y por tanto, como ella, podrá amplificarse en los pasos de F.I. Esta frecuencia f_i igual a la sintonizada más el doble de la F.I. es lo que conocemos como frecuencia imagen, la que, como hemos visto, puede ser también amplificada por los pasos de F.I. y provocar interferencias indeseables.

Ahora podemos comprender por qué una etapa previa de radiofrecuencia ayuda a la eliminación de la frecuencia imagen, puesto que al ser amplificada la frecuencia que se sintonice por dos pasos sintonizados (el de radiofrecuencia y el de la conversora) su nivel es mucho más alto que el de la frecuencia imagen.

Para eliminar la frecuencia imagen hay que procurar que caiga fuera de la banda pasante del paso oscilador-conversor o, dicho de forma más precisa, del circuito sintonizado de antena. Para que ello ocurra, y teniendo en cuenta que la frecuencia imagen es la sintonizada más dos veces la F.I., se aumenta todo lo posible el valor de la F.I.

Hemos visto que otra manera de contribuir a su eliminación consiste en añadir al sistema un paso de radiofrecuencia.

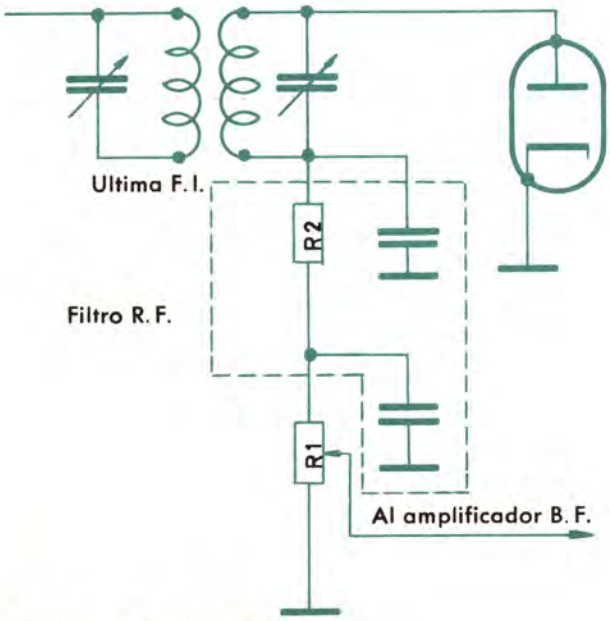
Los valores generalmente adoptados para la F.I. están comprendidos entre 415 y los 500 Kc, valores que son satisfechos para la banda de onda media, o sea la comprendida entre las frecuencias 500 y 1500 Kc.

Puesto que en los sintonizadores de AM además de esta banda por la general se cubren otras de ondas más cortas, también se adopta para ellas esta frecuencia intermedia a pesar de que sería adecuado un valor bastante más elevado. Sin embargo, disponer de distintos transformadores de F.I. para las diferentes bandas sintonizadas presenta ciertas dificultades no muy fáciles de resolver, por lo que esa solución no se ha utilizado.

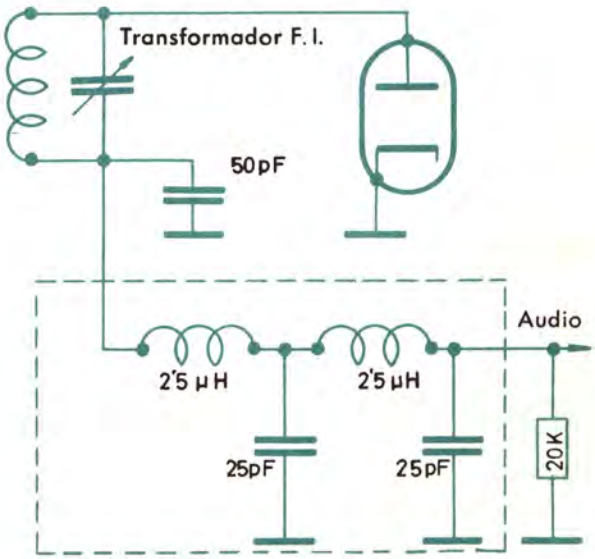
CIRCUITOS DETECTORES MAS FRECUENTES EN LOS SINTONIZADORES DE HI-FI

En los sintonizadores en AM de Hi-Fi en la inmensa mayoría de los casos se emplean como circuitos detectores dos tipos: detección por diodo y detección de impedancia infinita.

Detección por diodo



Detector básico por diodo.



Detector con filtro LC para R.F. adecuado para un sintonizador de Hi-Fi.

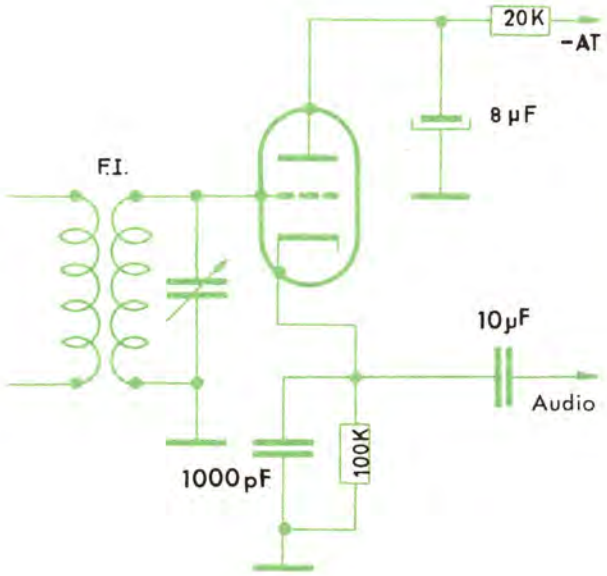
Su esquema básico para los circuitos de Hi-Fi es el representado en la figura. La carga del detector está constituida por las dos resistencias y los condensadores de filtro de radiofrecuencia.

La eficacia del circuito aumenta con la resistencia de carga: pero si se eleva mucho esta resistencia aumenta la constante de tiempo del circuito en perjuicio de la respuesta de las frecuencias más elevadas, por lo que en los circuitos detectores de Hi-Fi esta resistencia no debe ser demasiado elevada, aunque con ello se pierda efectividad, con el fin de ganar fidelidad.

En un radiorreceptor casero el valor de la resistencia (el de R_1, pues R_2 es comparativamente pequeña) es bastante elevado (unos 500.000 Ω), por lo que si se desea adaptarlo para un equipo de Hi-Fi hay que considerar la posibilidad de disminuir su magnitud.

El detector de impedancia infinita

Su circuito típico es el representado en la figura.



La ventaja de este tipo de detector es que constituye una carga infinita para el último transformador de F.I.; por tanto no tendrá lugar en él influencia alguna por parte del resto del circuito. De aquí el nombre de este tipo de detector.

En este circuito se lleva a cabo la detección operando la rejilla de la válvula constantemente en la región negativa, por efecto de la polarización variable que le asegura la resistencia de cátodo sin condensador de desacoplo.

Al operar siempre en la región negativa la corriente de rejilla es constantemente nula; de aquí el que el circuito presente una carga infinita al transformador de F.I.

Este detector puede operar entre límites de señal muy amplios. Presenta además la ventaja de su baja impedancia de salida.

Para el sintonizador de Hi-Fi el detector de impedancia infinita es superior al detector por diodo. Sin embargo, presenta un inconveniente: no proporciona la tensión negativa para el gobierno automático de la sensibilidad. Puede obtenerse también tensión para el control automático de sensibilidad en el detector de impedancia infinita mediante la adición de un diodo en el circuito.

Con estos circuitos básicos hemos llegado ya a la detección, y por tanto hemos terminado con el sintonizador que podríamos llamar convencional. Estudiaremos a continuación una serie de circuitos complementarios, todos los cuales, o por lo menos algunos, están normalmente contenidos en un buen sintonizador de Hi-Fi y constituyen los que habíamos denominado circuitos extras.

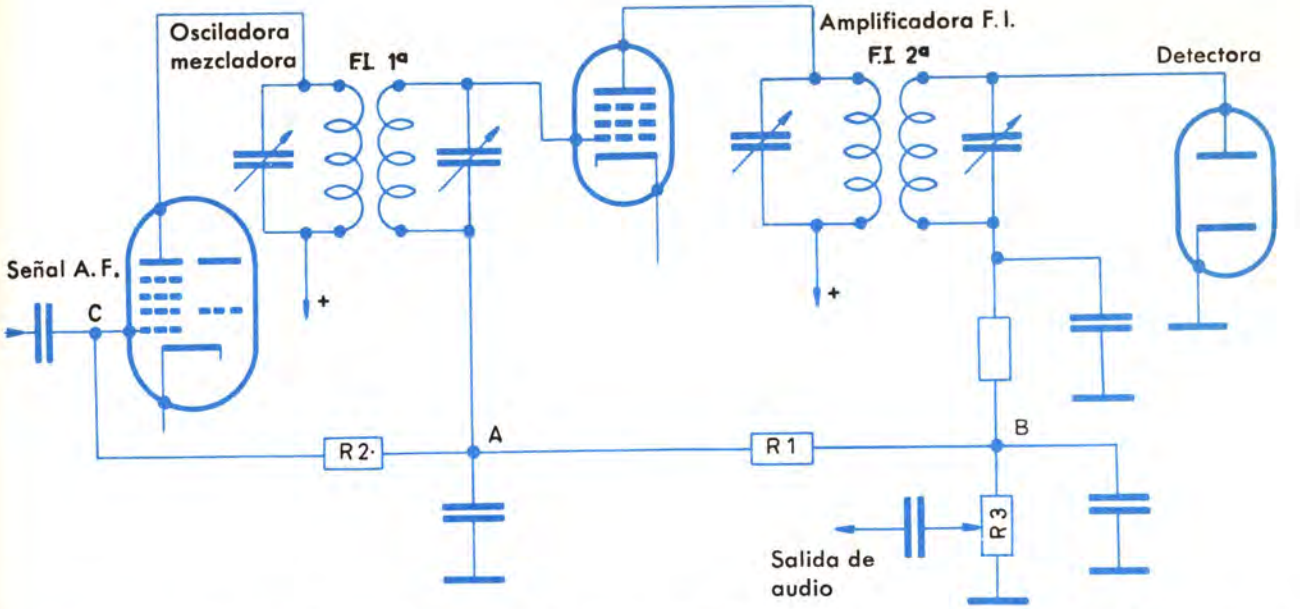
Control automático de sensibilidad

El C.A.S. tiene la misión de mantener constante la salida del sintonizador cuando la señal que le llega varía en intensidad. Es decir, lo que pretende el C.A.S. es que las emisoras débiles se perciban con la misma intensidad que las potentes.

Un circuito muy simple de C.A.S. es el representado en el esquema de la figura *a*). En él se ha prescindido de la parte del circuito que proporciona la alta tensión, del circuito oscilante y de parte del circuito de F.I. Sólo se representa en su totalidad la parte que nos interesa: el circuito de C.A.S.

Este sencillo circuito de C.A.S. está constituido por las resistencias R_1 y R_2 y el condensador C_1.

Su funcionamiento es de lo más simple; en efecto, si aumenta la señal que recibe la antena, y por tanto llega al detector, la intensidad en el diodo detector aumenta al igual que la caída de tensión en bornes de R_3; por lo tanto la tensión A desciende, puesto que es negativa respecto a masa,



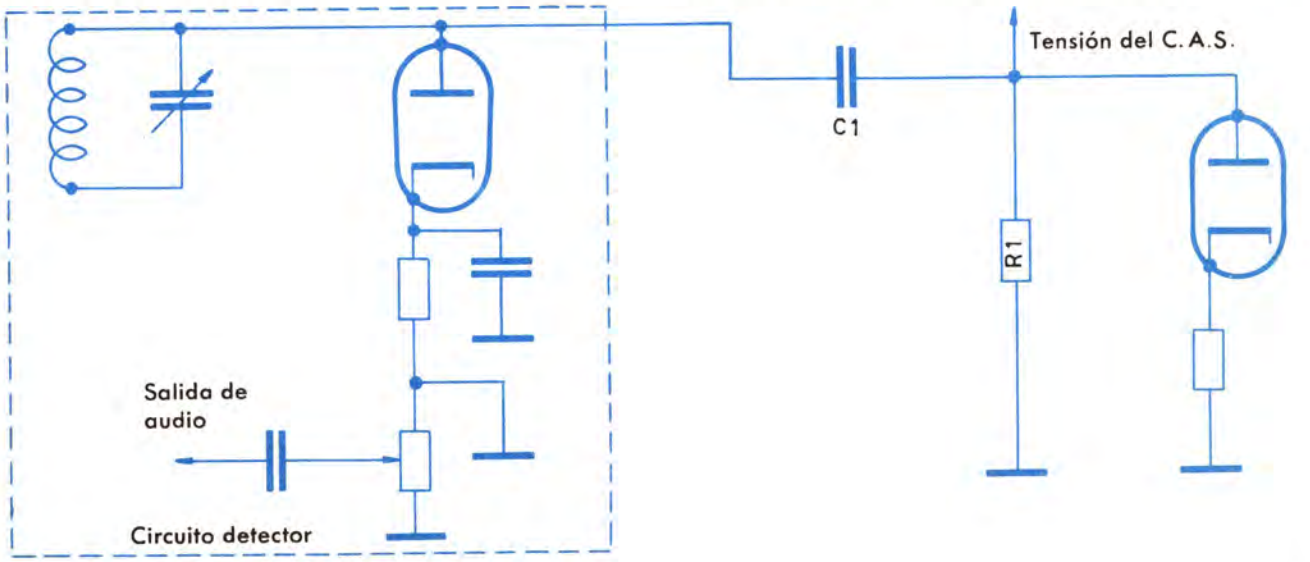
ya que la intensidad por R_3 tiene el sentido de la flecha. Al descender el potencial de A también lo hacen los de B y C aumentando la polarización de las válvulas, cuya amplificación disminuye por ser de pendiente variable, descendiendo en consecuencia la intensidad que pasa por el detector.

Por lo contrario, si tiene lugar un descenso de la señal el sistema actúa en sentido contrario, tendiendo a aumentar la amplificación y mantener así automáticamente la salida a un nivel constante.

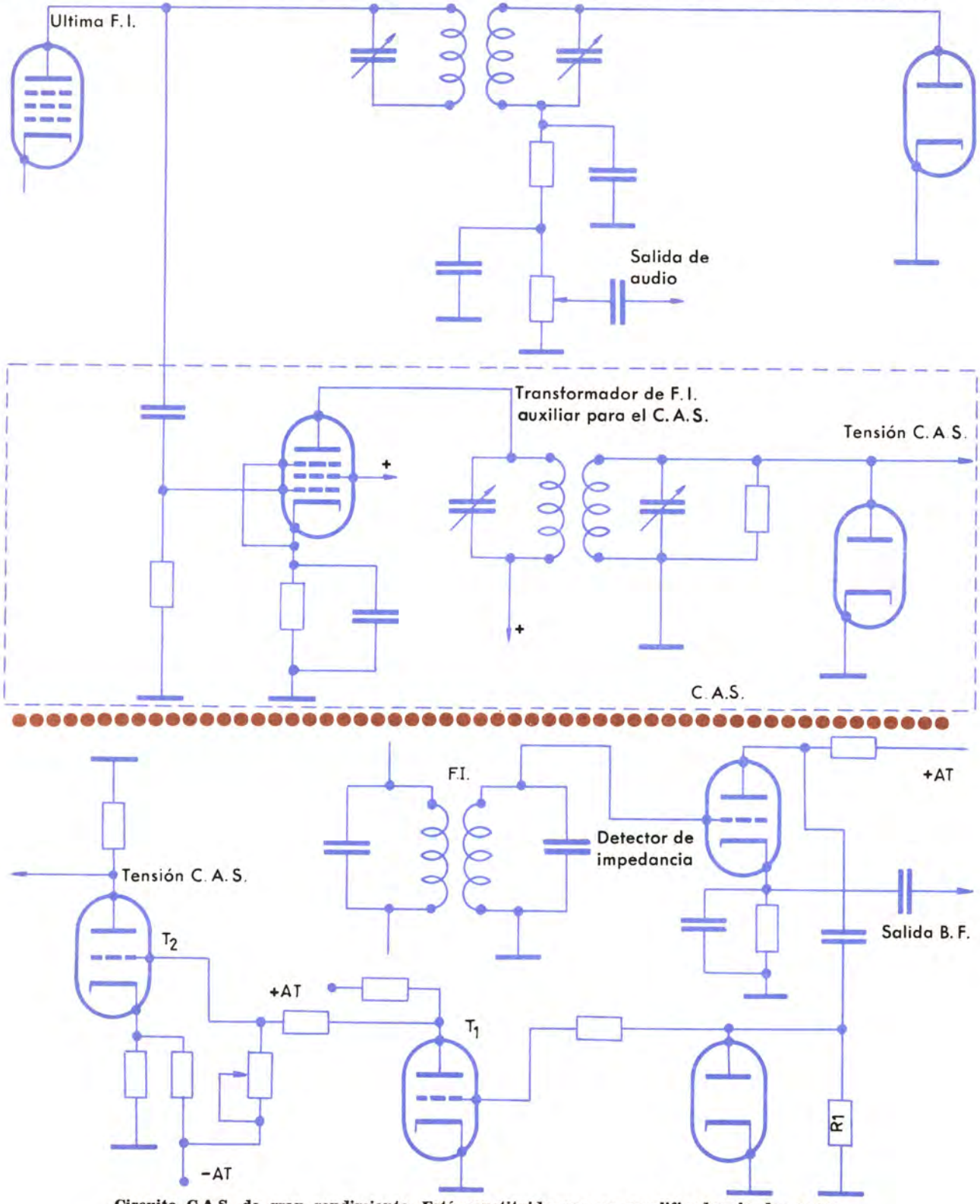
Este sistema es muy común en los aparatos radiorreceptores ordinarios, pero no resulta satisfactorio en los sintonizadores de Hi-Fi. Sin embargo, como el principio de funcionamiento de todos los circuitos de C.A.S. es el mismo y el descrito es tan sencillo, resulta útil para apreciar este principio. Efectivamente, podemos observar en este circuito que la misión esencial del C.A.S. es obtener una tensión rectificada negativa proporcional a la señal de entrada y aplicarla a las rejillas de las válvulas amplificadoras de las etapas precedentes para variar su punto de funcionamiento y el valor absoluto de su amplificación.

Para describir un C.A.S. diremos, pues, tan sólo cómo se obtiene en él la tensión negativa proporcional a la señal. Damos por sentado que esta tensión se aplica a las rejillas de las válvulas osciladora-conversora y de F.I.; por tanto es superfluo representar estas conexiones.

Un tipo bastante frecuente de circuito de C.A.S. para sintonizadores de Hi-Fi es el de la figura *b*). Este circuito emplea un diodo para obtener la tensión negativa de gobierno. El diodo se acopla al detector por medio del condensador C_1. La tensión del C.A.S. aparece en bornes de R_1, que constituye la resistencia de carga del diodo.



Otro circuito de C.A.S. es el de la figura *c*), que consigue la tensión de gobierno en forma algo diferente que los anteriores circuitos. Este sistema emplea una etapa auxiliar amplificadora de F.I. en paralelo con la última F.I. y una rectificación auxiliar para obtener la mencionada tensión.



Circuito C.A.S. de gran rendimiento. Está constituido por un amplificador de dos pasos acoplados en continua. Tiene el inconveniente de requerir una fuente de tensión negativa (— A.T.)

La finalidad de esta etapa amplificadora auxiliar es obtener una tensión de control muy superior a la que proporcionan los anteriores sistemas. Tiene el inconveniente de tener que emplear un transformador de F.I. auxiliar y una válvula pentodo extra.

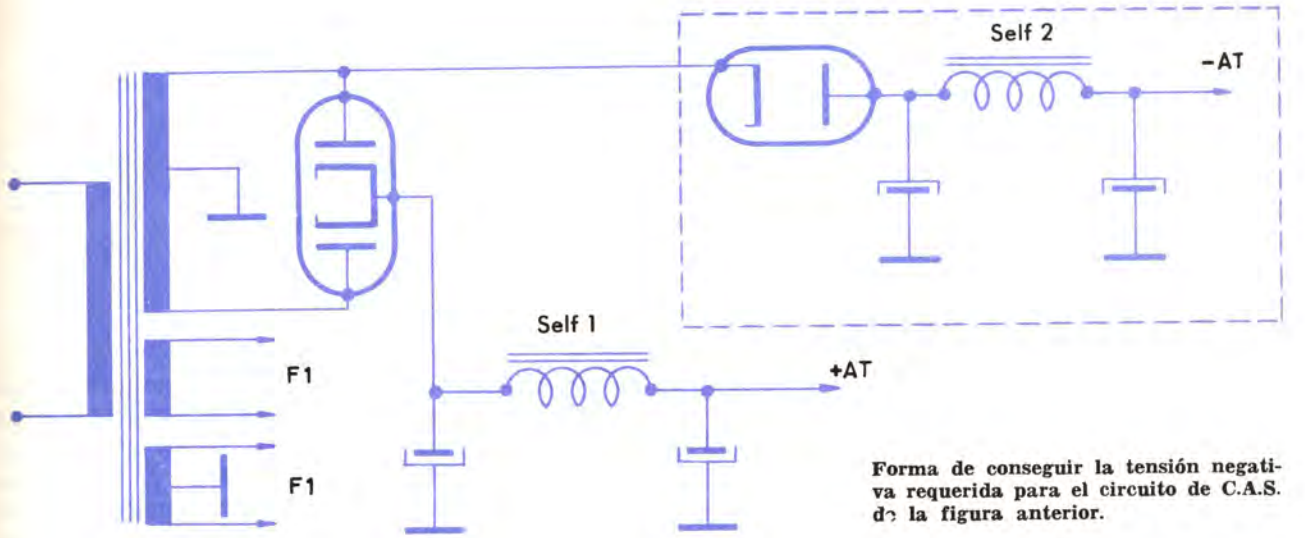
El sistema tiene una posibilidad de regulación muy superior a la de los anteriores.

Un sistema mejor aún, en el sentido de que puede proporcionar tensiones mayores, es el representado en la figura *d*).

Este circuito presenta el inconveniente de tener que disponer de una fuente de tensión negativa. Una forma fácil de conseguir esta tensión negativa del propio transformador de alimentación, con tan escasos elementos como un [illegible] y un circuito de filtro, es la representada en figura *e*).

El funcionamiento de este circuito es el siguiente: la tensión del C.A.S. que se obtiene en R_1 se aplica a la rejilla del triodo T_1 y se amplifica. La placa de T_1 está acoplada directamente a la rejilla de T_2, que produce una nueva amplificación de la señal detectada.

En definitiva, pues, en este circuito la tensión de gobierno se amplifica mediante un amplificador de corriente continua de dos pasos antes de ser aplicada a las rejillas de control de los diversos pasos del sintonizador. Con eso, naturalmente, la regulación es más efectiva.



Forma de conseguir la tensión negativa requerida para el circuito de C.A.S. de la figura anterior.

Circuitos limitadores

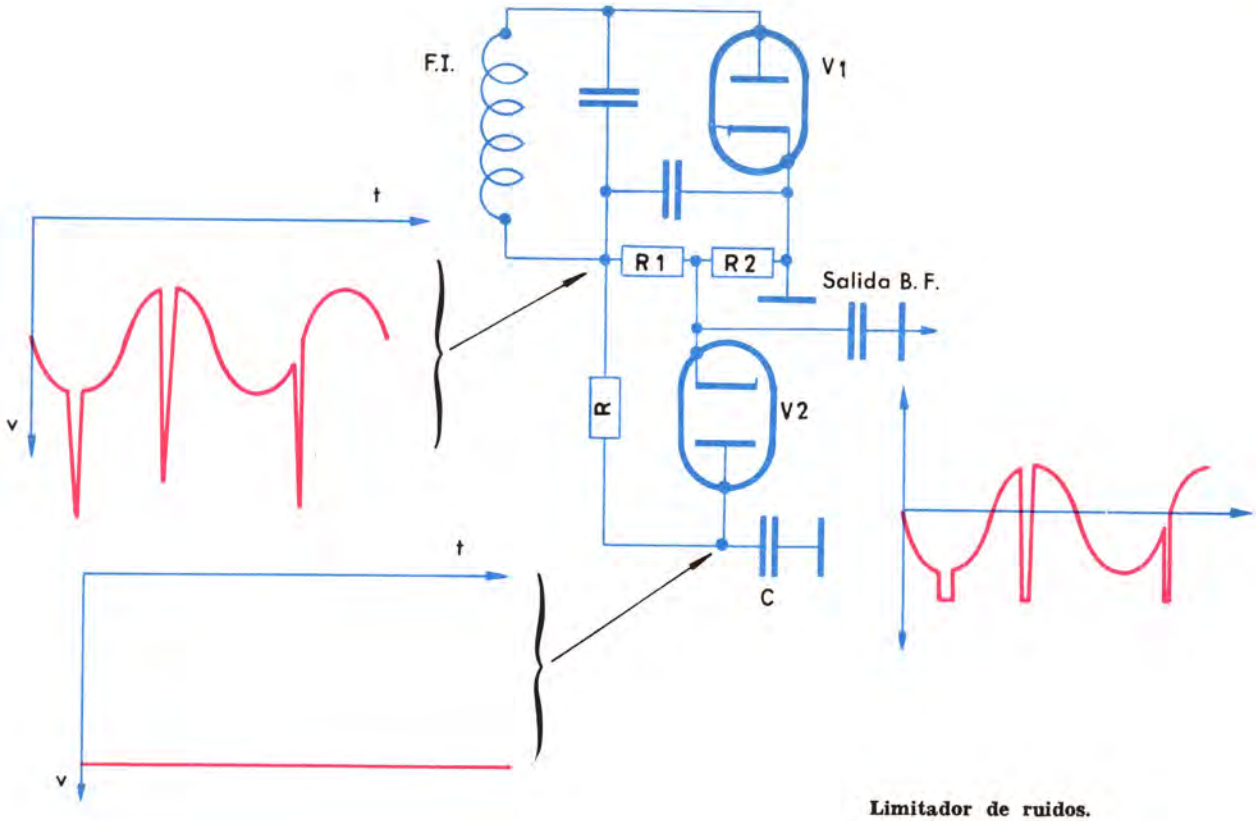
Es muy molesto que junto con la señal que llega de la emisora sintonizada aparezcan ruidos atmosféricos o estáticos, más algunas perturbaciones audibles en forma similar, provocadas por causas diversas, que no es posible impedir que lleguen al receptor (ruidos provocados por motores o cualquier elemento eléctrico sin absorción de las extracorrientes de apertura y cierre, presencia de líneas eléctricas cercanas a la antena, etc.).

Los circuitos limitadores de ruidos no los eliminan, sino que tan sólo los mantienen a un nivel bajo, por lo general igual a la amplitud de la portadora, con lo que desaparece la parte más molesta de dichos ruidos.

Un sistema muy sencillo para suprimir ruidos es el representado en el esquema adjunto.

La resistencia de carga del detector está constituida por R_1 y R_2. R y C forman un grupo cuya constante de tiempo es mucho más elevada que la del detector, de manera que el condensador C queda cargado con una tensión igual al nivel de la portadora. El diodo limitador V_2 normalmente no conduce, pues al estar su cátodo conectado al punto común de R_1 y R_2 su potencial es positivo respecto al ánodo.

Al llegar un impulso de ruido, debido a su pequeña duración y a la elevada constante de tiempo del grupo RC, el potencial del ánodo no varía; en cambio el potencial de cátodo sí y en cuanto se haga negativo respecto al ánodo, el diodo V_2 conducirá y el impulso quedará recortado.



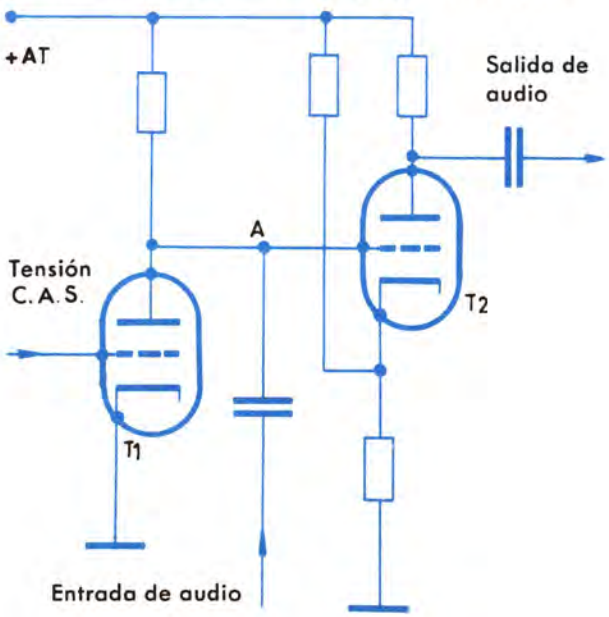
Limitador de ruidos.

Silenciador entre emisoras

Es muy molesto en una cadena de Hi-Fi el que se perciban ruidos, a veces bastante fuertes, cuando se cambia la emisora sintonizada mientras se encuentra la sintonía en puntos del cuadrante en los que no existía emisión alguna. Estos ruidos son inapreciables en un radiorreceptor doméstico por su reducida respuesta; pero en un sintonizador de Hi-Fi, donde la respuesta se ha extendido en ambos sentidos, pueden resultar molestos en sumo grado.

Una solución consiste en hacer descender el volumen del sintonizador mientras se lleva a cabo la sintonía; pero resulta bastante molesto el efectuar esta operación, máxime teniendo en cuenta que en un equipo de Hi-Fi a veces es difícil encontrar las posiciones adecuadas de los controles para adaptar la audición al gusto del audiófilo. Por estos motivos se emplea este dispositivo, que enmudece el sintonizador cuando no llega señal alguna a la antena.

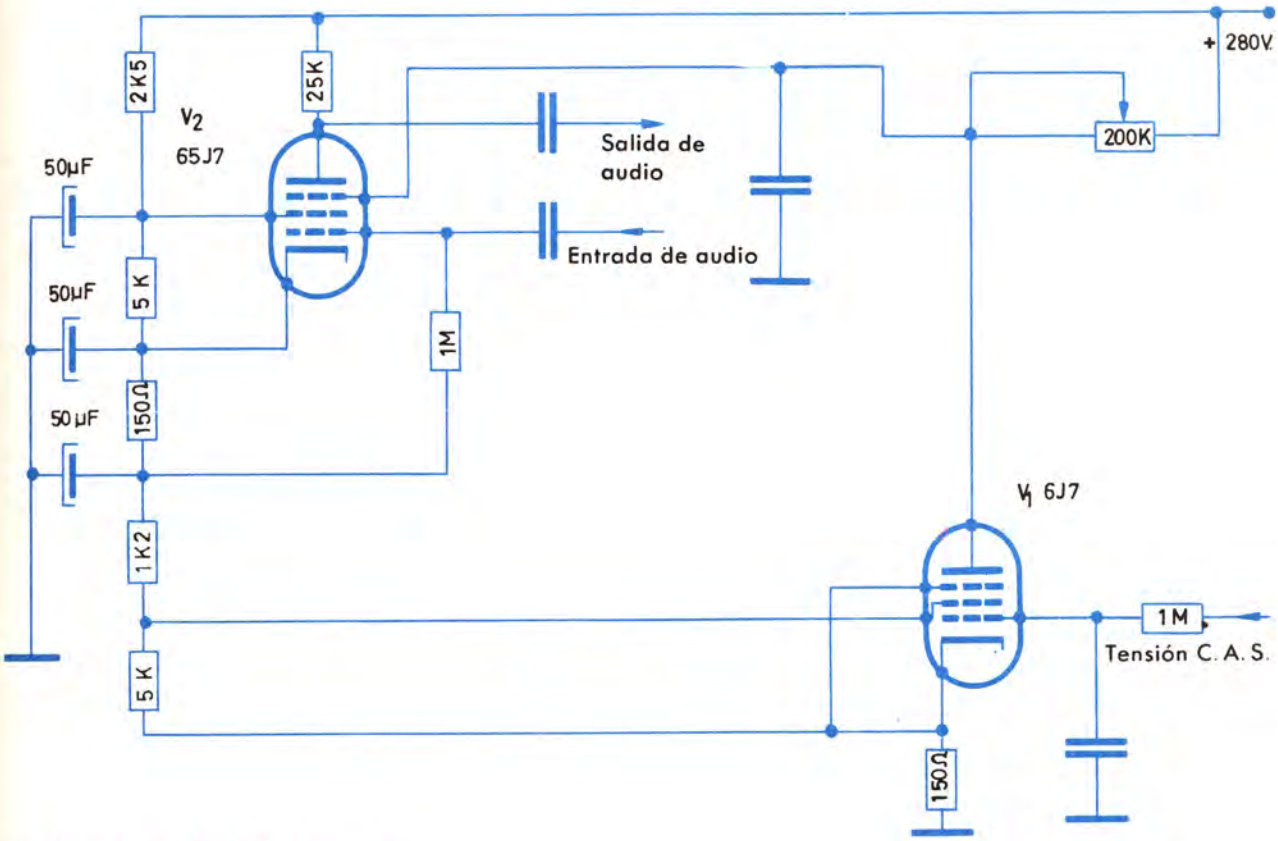
Dos circuitos que obedecen a estas exigencias son los representados en las figuras inmediatas. En el primero la tensión del C.A.S. se aplica a la rejilla de T_1. Si existe señal, la tensión del C.A.S. es negativa y pequeña por la intensidad por T_1; por tanto la tensión en A es elevada, y como consecuencia también es elevada la tensión de rejilla de T_2; esta válvula conduce y hay señal de audio. En cambio, si no hay señal en la antena la tensión del C.A.S. es poco negativa, casi cero, la intensidad por T_1 grande, potencial de A muy bajo, y por tanto T_2 queda bloqueada.



El circuito descrito da buenos resultados para un conjunto de señales en que el margen de tensiones que resulten sea bajo; pero con señales cuyas intensidades varíen entre amplios límites las tensiones del C.A.S. son muy diferentes, y por lo tanto las de rejilla de T_1 varían entre límites muy amplios, lo que provoca deformación a la salida de audio por ser llevada T_2 al funcionamiento en regiones no lineales de sus características.

El segundo circuito no presenta este inconveniente. Su principio de funcionamiento es idéntico al del anterior, con la única diferencia de que se emplean pentodos y el control de V_2 se lleva a cabo por la rejilla supresora. El empleo de pentodos presenta la ventaja de mayor elasticidad en los valores de las tensiones.

Este circuito silenciador es el comúnmente empleado en los sintonizadores de Hi-Fi, aunque no todos están provistos de él.



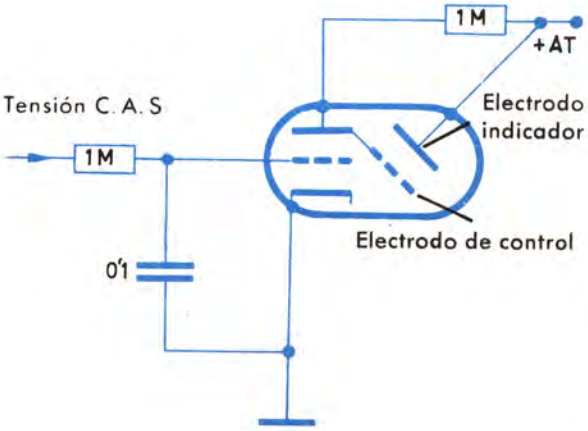
Indicador de sintonia

El indicador de sintonía —ojo mágico, como acostumbra llamársele— es un circuito que facilita la sintonía de las emisoras por indicar en todo instante el nivel relativo de señal que recibe el sintonizador.

Está constituido por una válvula que además del indicador contiene un triodo amplificador. La tensión amplificada por el triodo se aplica a la rejilla del indicador, que presenta una superficie mayor o menor de franja brillante según la diferencia de potencial entre esta rejilla y el electrodo del indicador.

El indicador de sintonía se conecta a la tensión del C.A.S. como se indica en la figura.

Su realización práctica no presenta ningún problema y ha sido descrita con anterioridad.



Control de selectividad

En el superheterodino el control de selectividad afecta a la banda pasante del amplificador de F.I. en el sentido de poder ensancharla o reducirla a voluntad entre ciertos límites.

Una solución para llevarlo a cabo consiste en conectar una resistencia en paralelo con cada uno de los circuitos sintonizados de F.I. Así se consigue el amortiguamiento de estos circuitos y por tanto ensanchar la banda de frecuencias que amplifican en perjuicio del valor de esta amplificación, que queda reducida. O sea, que se mejora la selectividad en perjuicio de la sensibilidad.

En la figura puede verse el efecto que produce en la respuesta del circuito sintonizado la conexión de la resistencia en paralelo.

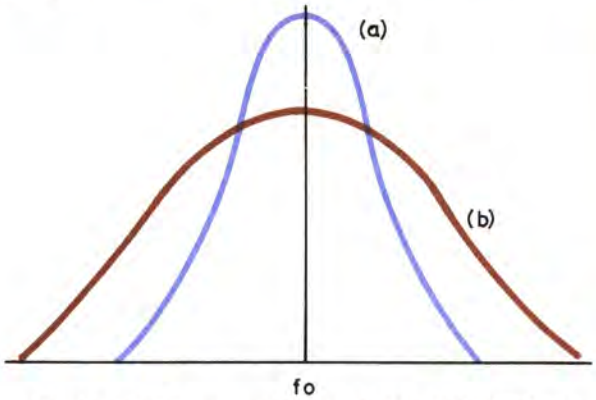
Mediante un commutador, esta resistencia puede estar en servicio o no. Se obtiene respectivamente una banda ensanchada o reducida. En vez de una resistencia fija puede emplearse un potenciómetro, con lo que se obtiene variación continua de la selectividad.

Otra forma de alterar la banda pasante del amplificador de F.I. consiste en variar el coeficiente de acoplamiento de los transformadores de F.I. Esto se consigue mediante dispositivos mecánicos que varían las posiciones relativas de las bobinas que constituyen el primario y el secundario. Este dispositivo, que así descrito parece de una sencillez enorme, lleva consigo complicados problemas de tipo mecánico.

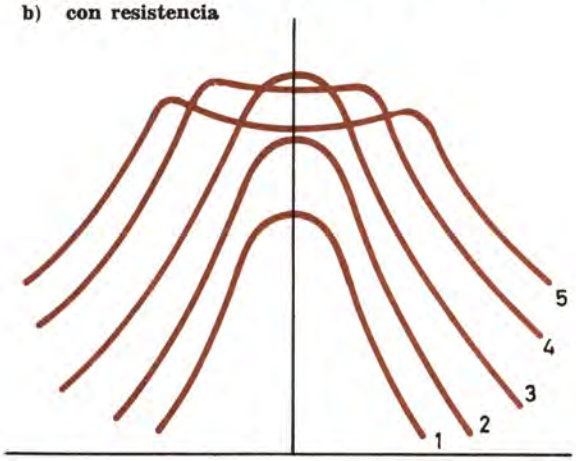
También puede variarse la banda pasante del amplificador de F.I. desintonizando ligeramente uno de sus circuitos mediante algún dispositivo mecánico que actuase desde el exterior sobre los núcleos de las bobinas de F.I. En estas condiciones la respuesta del amplificador de F.I. se ensancharía, como puede observarse en la figura.

Existen otros muchos sistemas para llevar a cabo la variación o control de selectividad del aparato; pero todos, aunque muy sencillos desde el punto de vista teórico, son difíciles de realizar en la práctica, sobre todo desde el punto de vista mecánico; además todos estos sistemas actúan sobre los transformadores de F.I., facilitando por consiguiente la introducción de cualquier inducción o influencia externa.

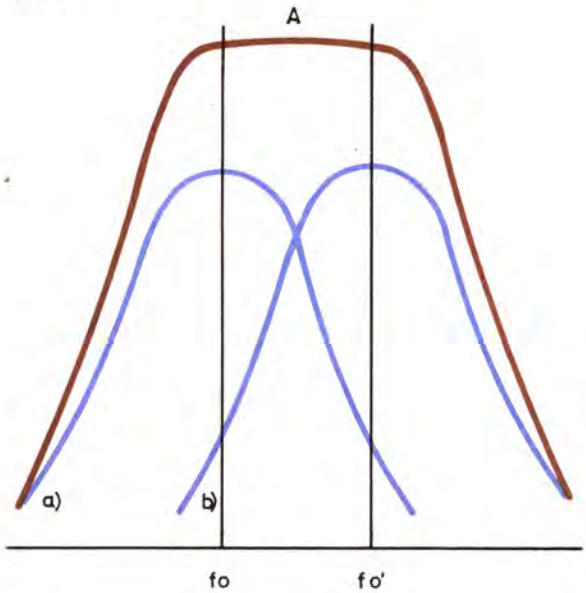
Estos son, en esencia, los circuitos extras que pueden encontrarse en los sintonizadores de AM en Hi-Fi.



Efecto sobre la respuesta del circuito sintonizado de FI al conectarle una resistencia en paralelo.
a) sin resistencia
b) con resistencia



Efecto sobre la respuesta del coeficiente de acoplamiento. El coeficiente de acoplamiento crece de 1 a 5.



En la figura, f_o f'_o son las frecuencias a que se han sintonizado dos pasos consecutivos y a) y b) sus respuestas. A) es la respuesta resultante.

EL SINTONIZADOR DE FM

Hemos indicado ya el diagrama bloque del receptor de FM y sabemos cuál es su funcionamiento.

En el estudio del sintonizador de FM nos limitaremos a revisar las diferencias existentes con respecto al sintonizador de AM y a estudiar los circuitos que lo constituyen.

No necesitamos diferenciar en FM los circuitos propios de sintonizadores de Hi-Fi de los que no lo son, puesto que todo sintonizador de FM es por su esencia de Hi-Fi, aunque dentro de esta categoría sea de más o menos calidad.

Las diferencias esenciales constitutivas entre el sintonizador de AM y el de FM pueden resumirse en los siguientes puntos:

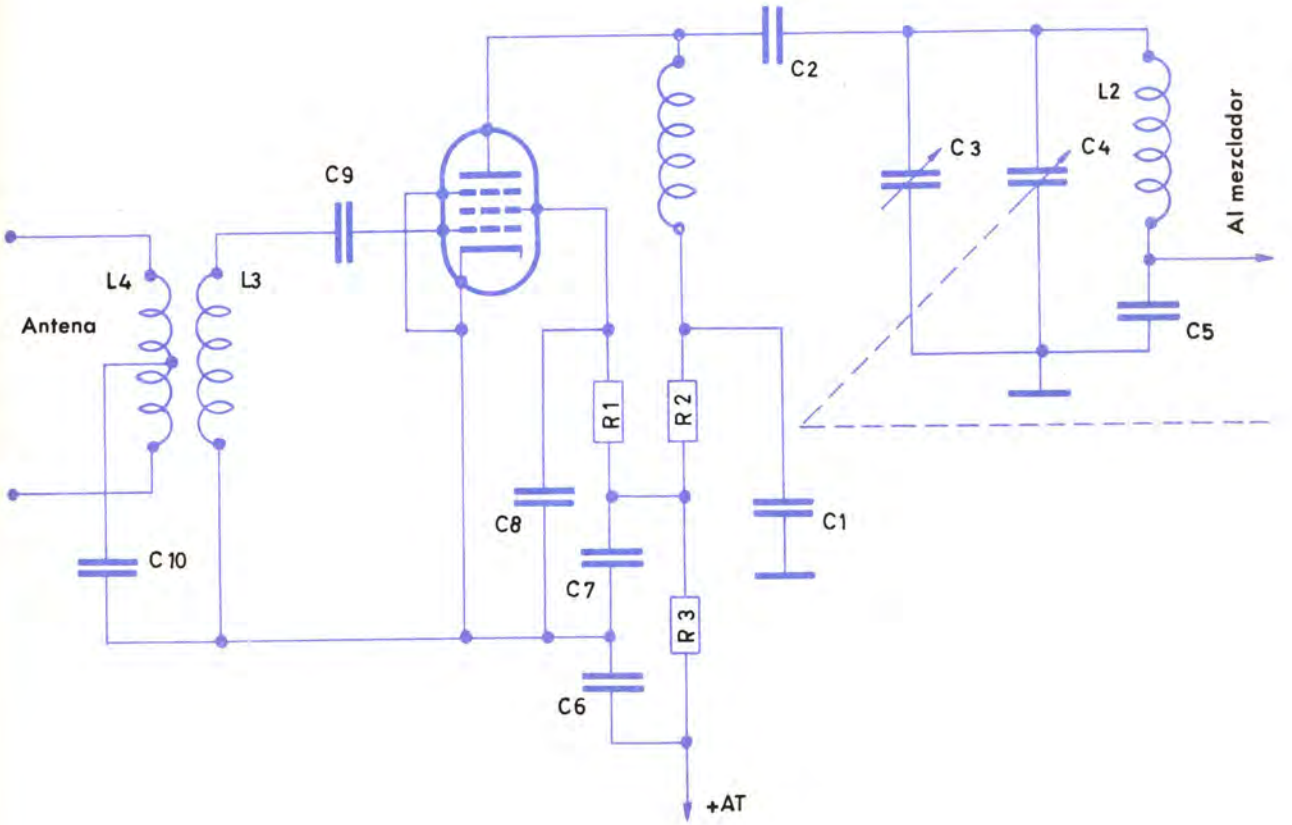
1. En recepción en FM la etapa amplificadora de R.F. es imprescindible y debe estar adaptada a la alta frecuencia que ha de amplificarse.
2. La válvula osciladora-mezcladora rarísimas veces es un heptodo, sino dos triodos (o uno solo con oscilador independiente).
3. El amplificador de F.I. opera a una frecuencia muy superior a las adoptadas en el sistema de AM.
4. La detección debe ser adecuada para un sistema de modulación de frecuencia, y por tanto es diferente del detector del aparato de AM.

Ya conocemos todo lo relativo a estos sintonizadores; así que comentaremos aunque sólo sea a la ligera, sus particularidades.

Etapa amplificadora de R.F.

El amplificador de R.F. en el sintonizador de FM puede consistir en un paso típico con pentodo, adaptado a las altas frecuencias que es preciso sintonizar.

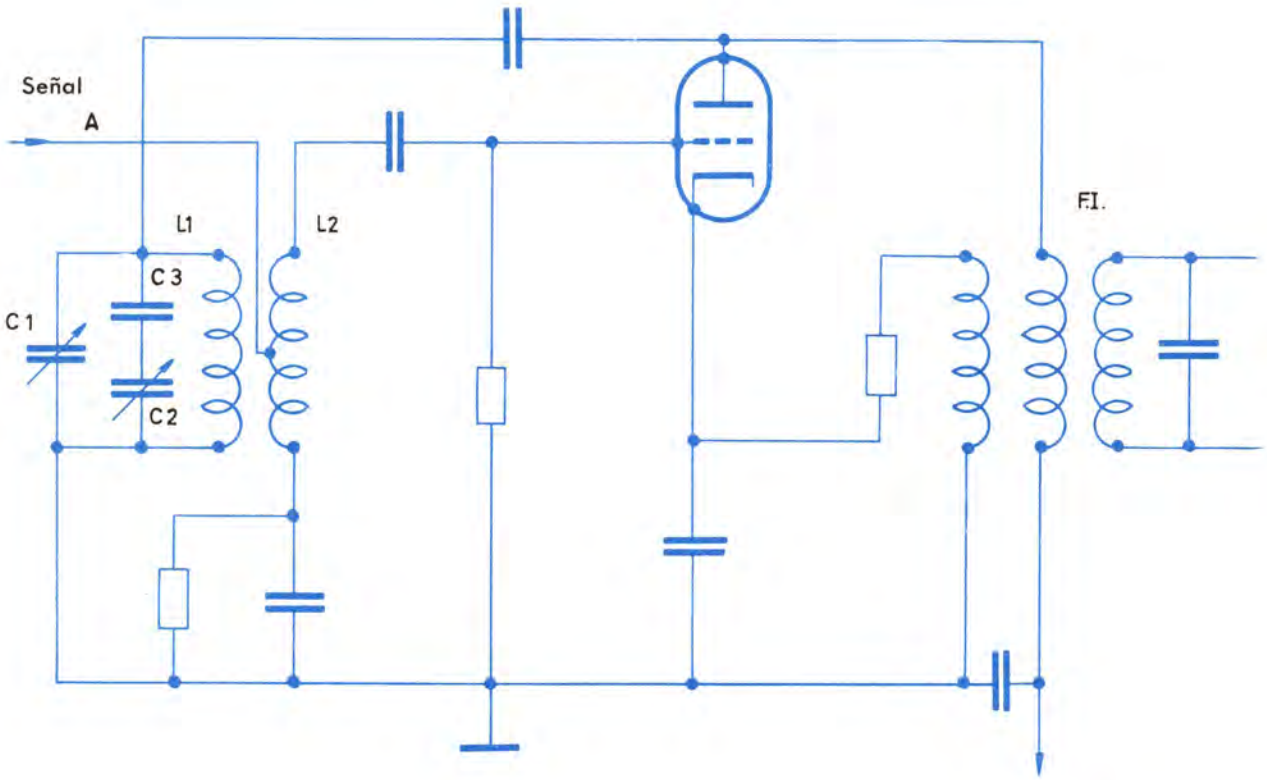
Las misiones del amplificador de R.F en el sintonizador de FM son las mismas que este paso amplificador representa para el sistema AM: reducir el nivel de ruido, colaborar a la eliminación de la frecuencia imagen, aumentar la sensibilidad, etc., a las cuales debe añadirse otra no menos importante: hacer factible el acoplamiento con la antena.



El limitador

En FM no se emplea casi nunca una sola válvula osciladora-mezcladora, sino válvulas separadas, triodos casi siempre. El motivo de esta separación es evitar interacciones entre ambas, que en frecuencias tan elevadas causan inestabilidad.

Este circuito puede realizarse con una sola válvula triodo. Con este sistema el oscilador está constituido por L_1 y C_1 y al triodo se le inyecta, junto con la señal que produce el oscilador, la radiofrecuencia que le llega por la toma A. La corriente de placa tiene una componente de frecuencia igual a la diferencia entre las dos frecuencias presentes en la rejilla, frecuencia a la que se sintonizan L y C que forman primer paso de F.I.



El amplificador de F.I.

El amplificador de F.I. en el sintonizador de FM es, como ocurre en los sintonizadores de AM, donde se lleva a cabo la mayor parte de la amplificación del sintonizador.

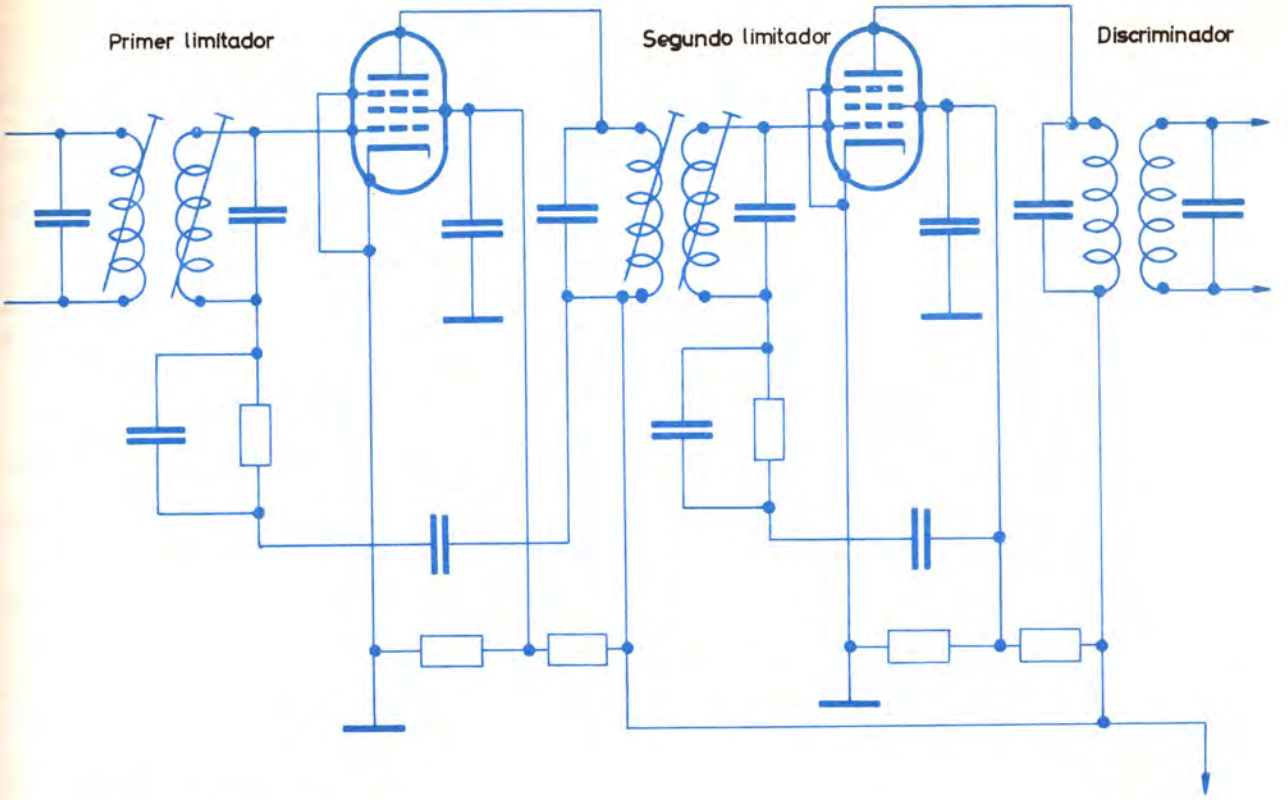
La frecuencia elegida para el trabajo de este amplificador puede oscilar entre 5 y 11 Mc. En la actualidad se adopta generalmente la de 10'7 Mc.

El amplificador de F.I. para una frecuencia de FM debe estar constituido por dos pasos amplificadores con tres transformadores de F.I. si se desea una buena sensibilidad para el sintonizador.

La razón de utilizar un paso más que en AM estriba en que aquí el ancho de banda ha de ser mayor (225 Kc/s en lugar de 10 Kc/s) y por ello cada paso tiene de por sí menos ganancia.

Paso conversor

El objeto de este paso es eliminar cualquier variación de amplitud que presente la portadora modulada en frecuencia. Este paso, pues, confiere al sistema su característica inmunidad frecuente a los ruidos. En los sintonizadores de calidad se utilizan limitadores de saturación con pentodos. En los modelos muy elaborados es posible encontrar no uno, sino dos pasos en cascada.

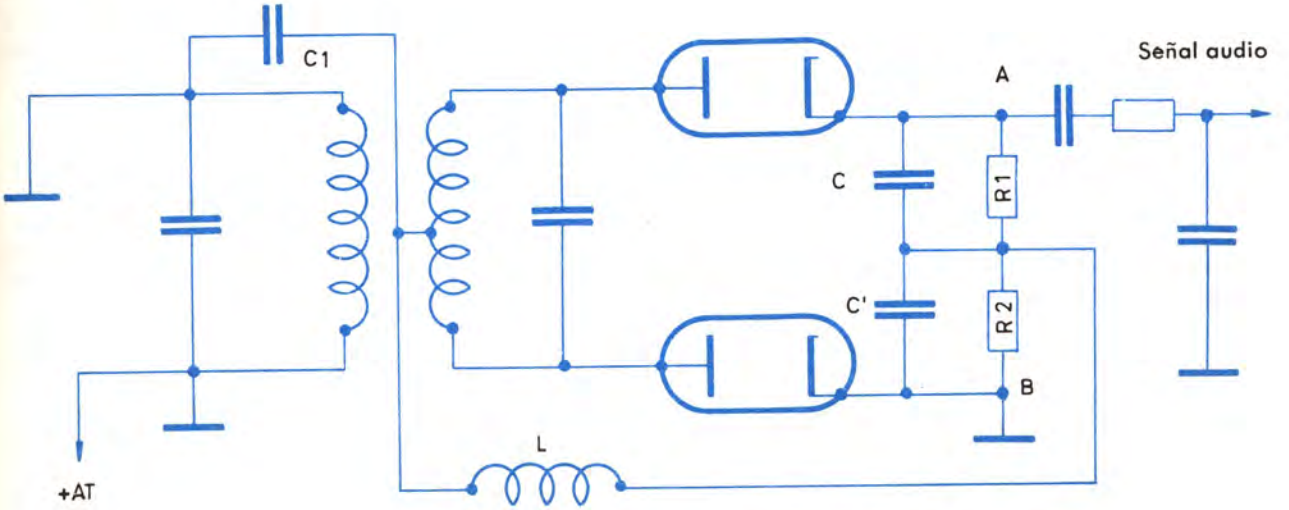


Paso limitador por saturación compuesto por dos pentodos en cascada.

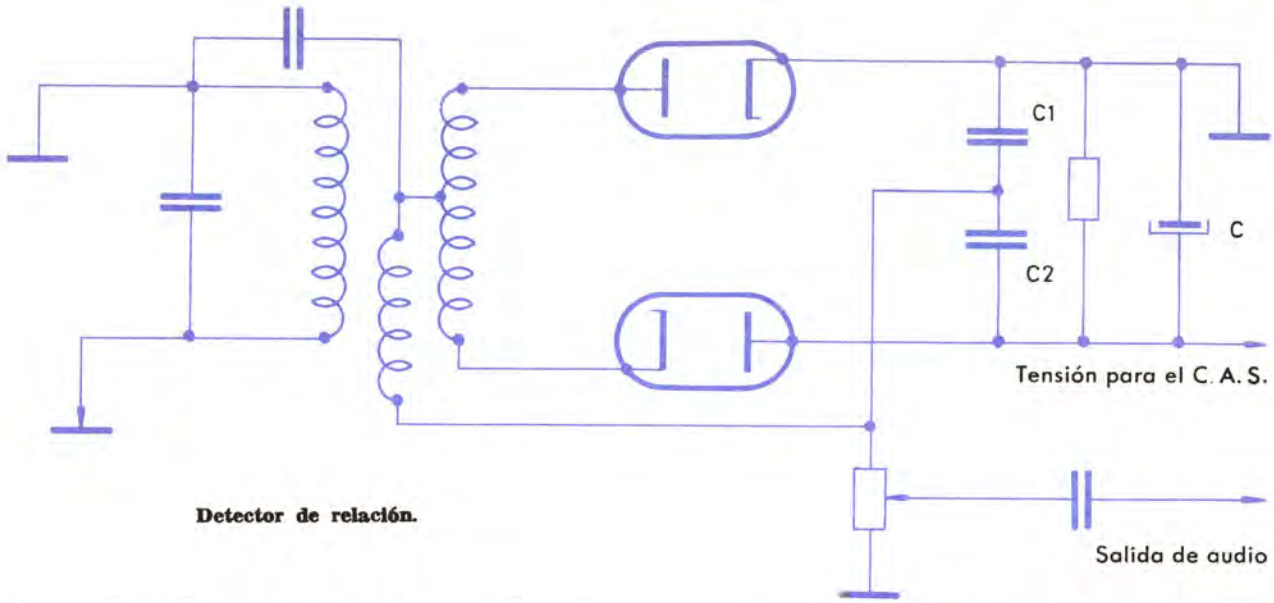
EL DETECTOR DE FM

Son varios los tipos de detección que pueden emplearse en FM: discriminador de Foster-Seely, detector de relación, detección por circuito oscilante no sintonizado, discriminador Travis y los discriminadores basados en válvulas multielectrodos.

Desde el punto de vista de la Hi-Fi sólo los dos primeros merecen consideración; en aparatos de gran categoría es preferible el primero.



Discriminador de Foster-Seely.



Detector de relación.

El discriminador de Foster-Seely ofrece la ventaja técnica de ser más lineal, y por tanto introducir menos distorsión que el detector de relación.

En cambio este último, por gozar de propiedades limitadoras, ofrece la ventaja económica de permitir ahorrar la etapa o etapas limitadoras que siempre acompañan al primero.

Aunque hablando en términos relativos el discriminador de Foster-Seely puede considerarse como mejor técnicamente que el de relación, los dos pueden satisfacer las exigencias de la alta fidelidad. Nada diremos aquí sobre el principio de funcionamiento, pues ambos se han estudiado con detalle en las lecciones especialmente dedicadas al tema.

CIRCUITOS COMPLEMENTARIOS

En AM hemos estudiado como circuitos complementarios el C.A.S., los circuitos limitadores de ruidos, el silenciador entre emisoras, el indicador de sintonía y el control de selectividad. De éstos, debido a la existencia de la etapa limitadora, son innecesarios el limitador de ruidos y el silenciador entre emisoras.

También la existencia de la estapa limitadora hace innecesario el circuito de C.A.S., al menos para la finalidad con que se emplea en los sintonizadores de AM. Algunas unidades de FM, sin embargo, lo utilizan para evitar sobrecargas en el amplificador de F.I.

Dado el que en FM el riesgo de interferencia es muy limitado, tampoco tiene objeto incluir en estos equipos el control de selectividad.

Finalmente, pues, sólo el indicador de sintonía es uno de los circuitos que hemos convenido en llamar extras y que tiene tanta utilidad en AM como en FM.

UNIDADES COMBINADAS AM/FM

También existe la posibilidad de proveer en una sola unidad los dos sistemas de recepción —el de AM y el de FM— en las llamadas unidades combinadas.

Los resultados que pueden obtenerse con estas unidades combinadas son siempre inferiores a los que se alcanzan empleando unidades independientes.

En una unidad combinada hay etapas utilizadas en los dos sistemas y otras que son exclusivas para cada uno de ellos.

En la mayor parte de ocasiones son exclusivos para la recepción en AM el detector y la parte triodo de la válvula osciladora-conversora.

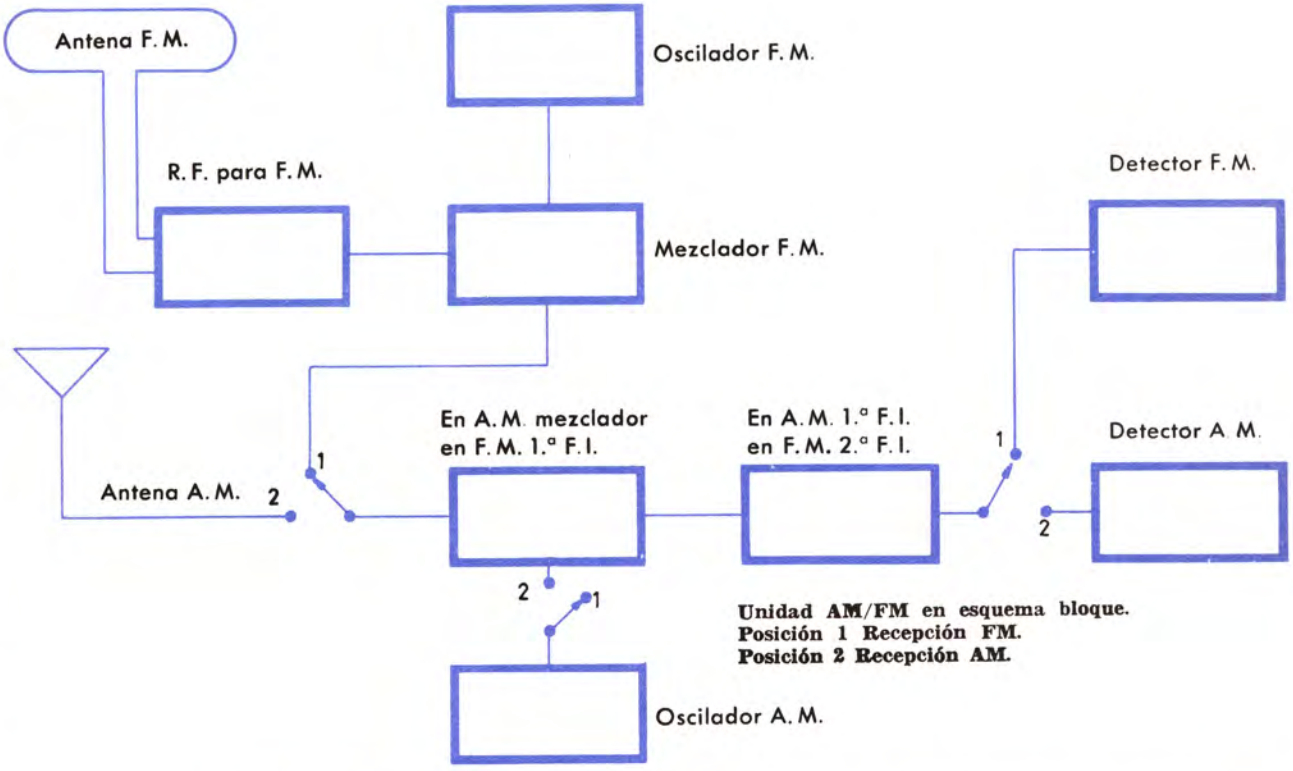
Son exclusivas del sistema de FM la etapa de R.F. y la osciladora-mezcladora, ya sea una sola válvula o dos, y el detector FM o discriminador.

Las etapas comunes son las correspondientes a las F.I., teniendo en cuenta cambiar la frecuencia al pasar de uno a otro sistema, lo que por lo general se consigue modificando los transformadores de F.I. y la parte heptodo de la osciladora-

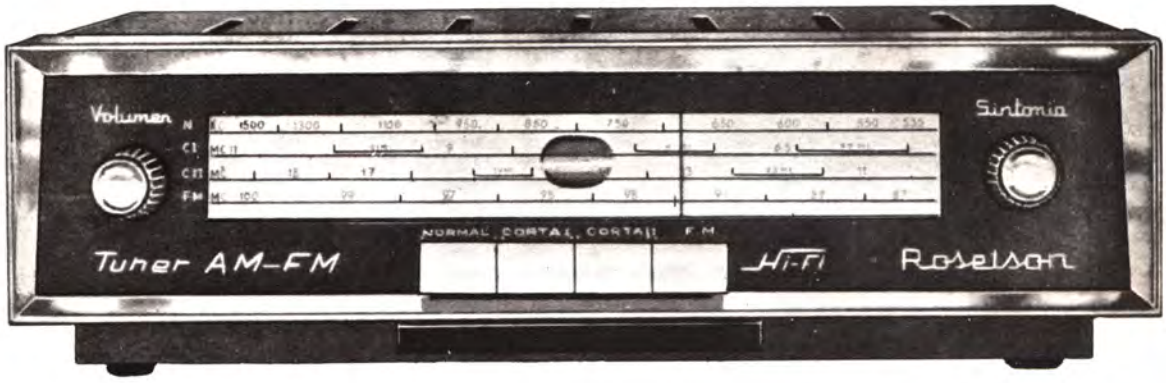
conversora, que generalmente se emplea como primera amplificadora de frecuencia intermedia en FM.

En la figura puede verse, por medio de un diagrama bloque, cómo actúa cada una de las etapas en los dos sistemas dentro de una unidad combinada.

El estudio detallado de estos circuitos se hizo ya, como usted recordará, en las lecciones dedicadas a la recepción en FM.



Unidad AM/FM en esquema bloque.
Posición 1 Recepción FM.
Posición 2 Recepción AM.



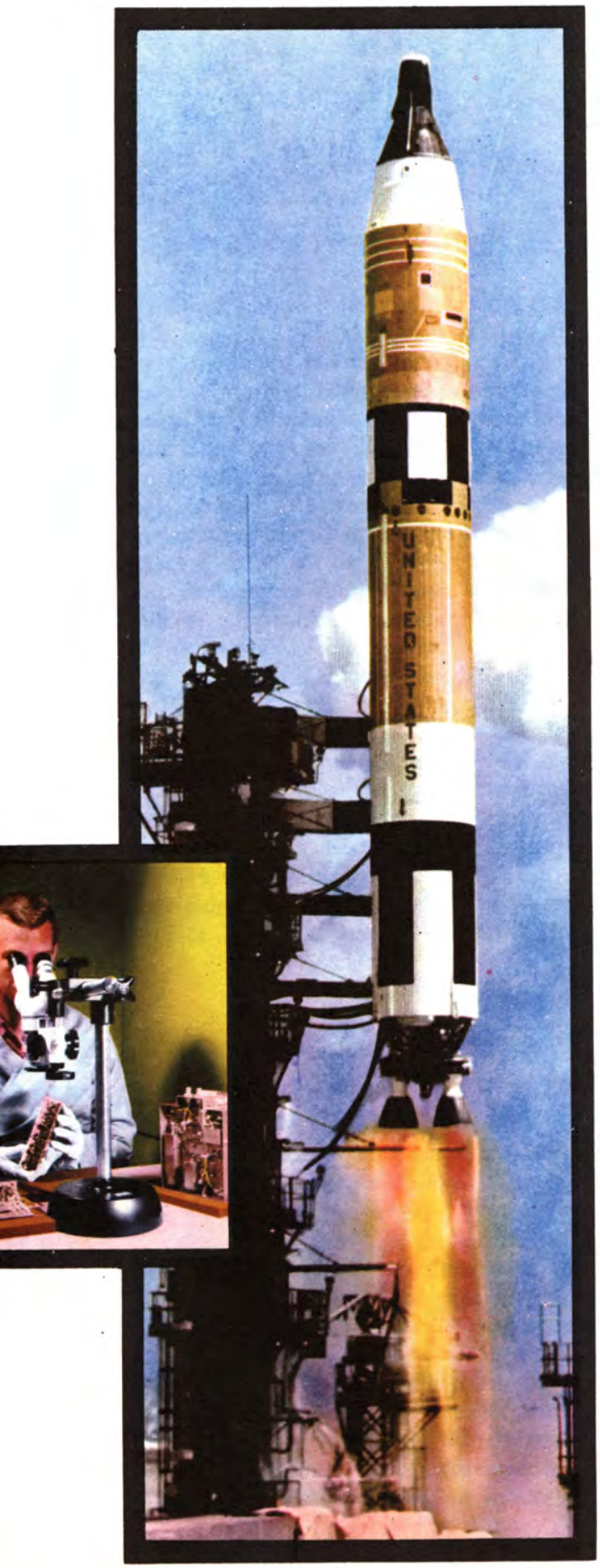
Sintonizador mixto AM-FM para Hi-Fi (Roselson).

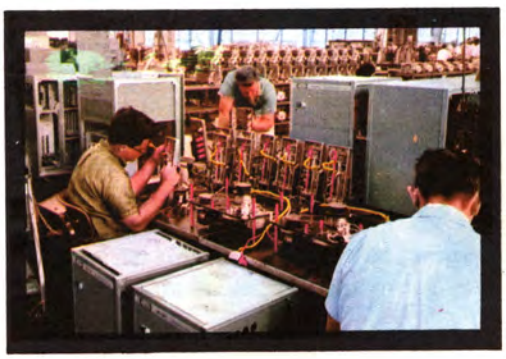
* * *

LECCION 47

Altavoces. Diversos tipos
Partes constituyentes
Características de un altavoz
Altavoces para agudos, medios y graves
Altavoces de banda extendida
Filtros. Gabinetes acústicos
El "bass-reflex"

electronia radio + tv





ALTAVOCES Y ALTA FIDELIDAD

Antes de la aparición de las fuentes sonoras de que ahora disponemos, el conjunto constituido por el altavoz y su *baffle*, cuando éste existía, no eran un elemento dominante en el sistema, pues afortunadamente las deficiencias de la fuente de programa coincidían con las del sistema reproductor y por tanto quedaban enmascaradas sus imperfecciones. Podemos afirmar de aquellos primitivos altavoces que además de ser un transductor electroacústico actuaban de juicioso filtro.

Al disponer de fuentes sonoras con una banda más amplia, se agudizaron las exigencias para cada elemento del sistema reproductor; como es de suponer, no escaparon a ello las del último eslabón.

El primer intento de ensanchar la banda de los altavoces se dirigió al extremo inferior de las frecuencias. La primera solución para este problema consistió en diseñar altavoces de mayor diámetro que podían radiar hasta el extremo más bajo de los graves una apreciable potencia.

Con la aparición de las emisiones en FM se notó la riqueza de los tonos agudos que dan «vida» al sonido; así que el interés de todos se dirigió a los altavoces de agudos, de los que se propusieron tipos muy variados. Los altavoces clásicos también fueron modificados en su concepción general en miras a esa mejor respuesta para el extremo superior de la banda sonora.

El crecimiento de la banda pasante que ha venido operándose en estos últimos años para los sistemas de baja frecuencia ha hecho que ésta terminase por abarcar todo el espectro audible, obligando, pues, al altavoz a reproducir toda esta gama de frecuencias. Pero el que un altavoz tenga esta respuesta no resuelve todos los problemas de la reproducción sonora: además de la respuesta de frecuencia hay que considerar otros parámetros para definir de una forma cuantitava nuestro concepto de fidelidad. En particular, es importante para un altavoz la reproducción exacta del timbre y su respuesta a los regímenes transitorios, pues no es difícil encontrar dos altavoces de una misma respuesta de frecuencia que presenten sonidos con cualidades fácilmente diferenciables.

ALTAVOCES

Hemos dicho en la lección anterior que el altavoz —o sistema de altavoces— constituía la cuarta sección de un sistema de alta fidelidad; pero esta sección, al contrario de las otras, no está delimitada con claridad, por cuanto está unida a la salida del amplificador por un acoplamiento por transformador y al auditorio por un dispositivo de adaptación acústica.

El altavoz es un transductor electroacústico, ya que su misión es la de convertir energía eléctrica en energía acústica; pero esa transformación de energía no se lleva a cabo directamente, sino convirtiendo la energía eléctrica en mecánica y en un segundo paso la mecánica en acústica.

Podemos justificar con lo anterior la división funcional generalmente llevada a cabo al estudiar el altavoz en las siguientes partes:

a) Parte electromagnética. Constituida por el imán y la bobina móvil. La corriente eléctrica llega a la bobina móvil situada en el interior del campo del imán, por lo que aparecen acciones que determinan su movimiento y el arrastre del cono con ella.

b) Parte mecánica. Constituida por el cono y su suspensión. Sobre el cono está montada la bobina móvil, que arrastra el conjunto cuando es ex-

citada por las corrientes procedentes del transformador de salida.

c) Parte acústica. Transmite al recinto de audición la energía sonora desarrollada por la parte mecánica.

CLASIFICACION DE LOS ALTAVOCES

Los altavoces pueden clasificarse atendiendo a la gama de frecuencias que reproducen o al principio de su funcionamiento.

Atendiendo a la banda reproducida los clasificaremos en:

a) Altavoces de uso general.

b) Altavoces especiales para tonos graves.

c) Altavoces especiales para frecuencias agudas.

d) Altavoces especiales para frecuencias medias.

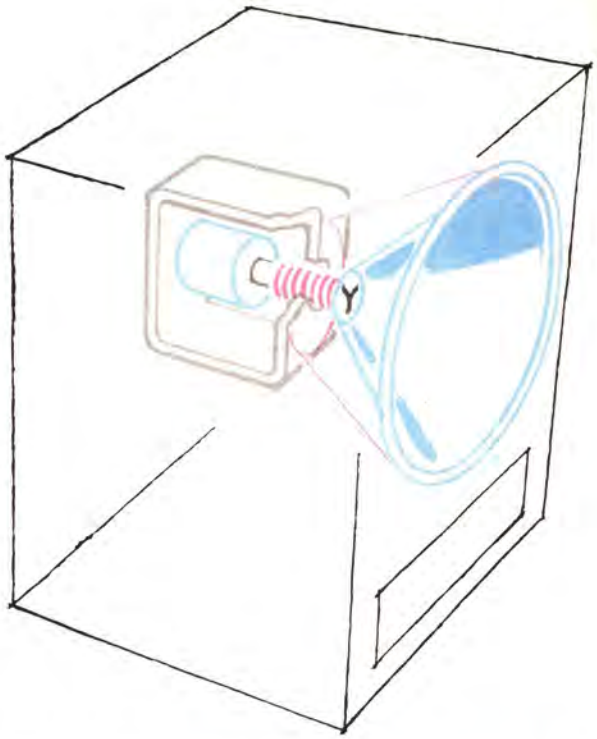
e) Altavoces múltiples o compuestos.

Según su principio de funcionamiento los clasificaremos en:

a) Dinámicos o de bobina móvil.

b) Altavoces con excitadores de cristal.

c) Altavoces con excitación por condensador.



Los altavoces son dispositivos electro-mecánico-acústicos. La parte eléctrica está formada por el imán y la bobina móvil, la parte mecánica por el cono y sus elementos de suspensión elástica, y la parte acústica es el gabinete que los contiene.

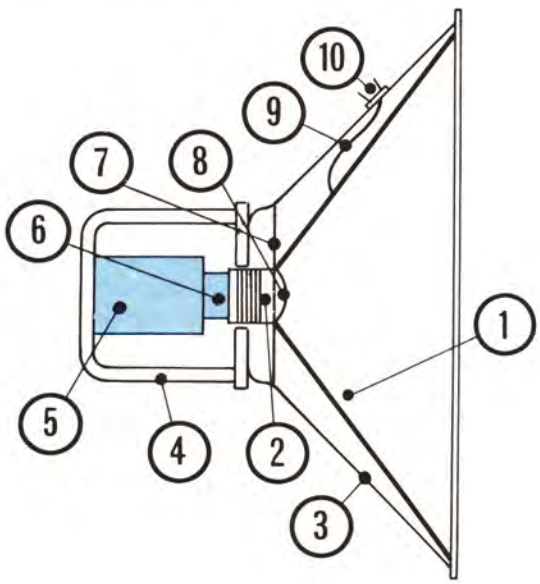
ALTAVOCES DINAMICOS

De todos los tipos antes mencionados, el altavoz dinámico es el más empleado en técnicas de alta fidelidad y reúne unas características muy superiores en general a los demás tipos.

DESCRIPCION DEL ALTAVOZ DINAMICO

El altavoz dinámico está constituido por las siguientes partes esenciales:

1. Cono o diafragma.
2. Bobina móvil.
3. Campana.
4. Yugo.
5. Imán permanente o bobina de excitación.
6. Núcleo.
7. Araña.
8. Tapa de retención de polvo.
9. Cables de hilo de plata arrollados en alma de algodón.
10. Bornes de salida



CONO

Su nombre correcto es diafragma, pues no todos tienen la forma troncocónica que ha originado esa denominación.

Se fabrican en material fibroso y liviano para que ofrezca la menor inercia posible.

En los altavoces destinados a alta fidelidad el diafragma puede tener diversas formas y variada constitución según el margen de frecuencias que ha de reproducir, la potencia admisible y las características de directividad que el altavoz ha de ofrecer.

BOBINA MOVIL

La bobina móvil del altavoz está montada sobre un tubo cilíndrico que ha de ser capaz de resistir los esfuerzos que se originan durante el bobinado, así como los provocados por la araña durante el movimiento vibratorio de la bobina, pues si este tubo se deformase la bobina rozaría con el núcleo produciendo los correspondientes zumbidos. Por ello el tubo debe estar fabricado con un material resistente que, por otra parte, debe tener un espesor muy reducido para conservar un pequeño entrehierro.

Este tubo debe resistir los ataques de la humedad, por lo que se impregna con un barniz especial que lo impermeabiliza.

El devanado de la bobina debe realizarse con gran exactitud; el grueso del alambre depende de la carga que puede admitir el altavoz. Esta bobina se adhiere al tubo por medio de un cemento especial para fijar esmalte al papel, el cual debe resistir las vibraciones a que está sometido y no contener compuestos químicos que puedan atacar el esmalte del hilo que forma la bobina.

El hilo con que se construye la bobina debe tener un buen aislamiento; no es necesaria una capa de esmalte de gran flexibilidad, ya que, por ser circulares todos los devanados del altavoz, el hilo no está sometido a grandes deformaciones.

El tubo está unido mecánicamente al cono por medio de una unión con la araña y el borde central del mismo.

CAMPANA

Está fabricada con chapa muy delgada, cuya rigidez se ha aumentado aplicándole nervaduras de refuerzo.

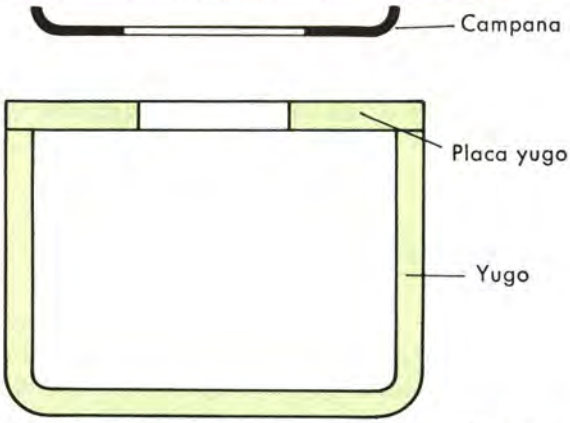
Una medida crítica de la campana es su altura, ya que una vez colocado el cono en la misma éste no puede ejercer esfuerzo alguno sobre la araña, pues de ocurrir esto aumentaría considerablemente la impedancia mecánica del conjunto móvil del altavoz.

Otro factor a tener en cuenta en la campana

es la soldadura, llevada a cabo por el procedimiento de puntos, que se efectúa con el yugo. Si el número de puntos no es suficiente se produce un zumbido al golpear entre sí las partes soldadas.

Puede verse si el altavoz adolece de este efecto golpeando ligeramente la campana; se nota el ruido característico de dos partes metálicas en contacto.

Con el fin de evitar la oxidación la campana debe estar cubierta de una capa galvanoplástica, dispuesta con especial cuidado en la zona de contacto con la araña, pues cualquier deficiencia en la fijación de ésta repercute en el centrado.



Por su cara anterior, el yugo está unido a la campana y presenta un orificio en el que se sitúa la bobina móvil.

YUGO

El yugo aloja en su interior el sistema excitador del campo magnético, sea éste un imán permanente en los altavoces dinámicos o una bobina de excitación con núcleo de hierro en los electrodinámicos.

El material que lo constituye ha de tener unas propiedades mecánicas que hagan fáciles los procesos de fabricación, tales como doblado y punzonado.

Para evitar en esta parte pérdidas del campo magnético, el material empleado debe tener alta permeabilidad.

SISTEMA DE EXCITACION

Este sistema puede estar constituido por un imán permanente o por una bobina de excitación con núcleo de hierro.

En el caso de excitación con imán permanente, que es hoy el sistema más empleado, hay que prestar especial atención al tamaño y potencia del imán empleado, factores siempre íntimamente relacionados con su peso.

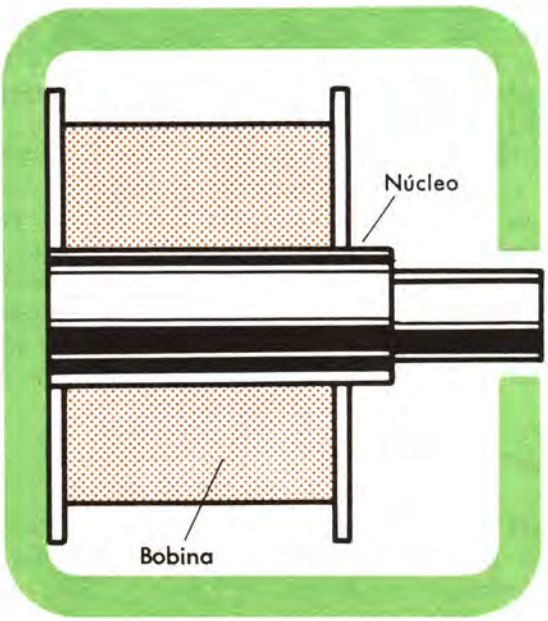
En líneas generales puede decirse que el peso mínimo del imán recomendado es de kilo y medio para un altavoz de alta fidelidad de 12".

Actualmente, por el desarrollo de las técnicas en la producción de óxidos ferromagnéticos, se ha llegado a obtener composiciones, como por ejemplo el ferroxdure, que rinden inducciones muy superiores a las de los imanes clásicos, con lo que el peso de los imanes permanentes de altavoces excitados con tales compuestos puede ser bastante inferior a los recomendados para imanes convencionales.

En caso de excitación por bobina, hay que tener cuidados especiales con la humedad, que puede ser un factor determinante en la vida de la bobina de excitación. Para evitar los efectos de la humedad generalmente se recubre con brea la bobina de excitación a fin de impermeabilizarla.

La excitación de los altavoces electrodinámicos es en todos los puntos de vista más delicada que la de los dinámicos, desde el cuidado en el bobinado hasta su aislamiento, la disipación térmica y hasta la posible aparición de descargas eléctricas.

En la actualidad la inmensa mayoría de los altavoces tienen excitación por imán permanente.



ARAÑA

La araña es una pieza colocada en el cuello del cono que tiene por misión centrar la bobina móvil en el entrehierro.

Para disminuir en lo posible la impedancia mecánica del conjunto móvil, la araña debe tener gran flexibilidad en el sentido axial.

Tipos de arañas

a) ARAÑA DE SUSPENSIÓN EXTERNA. Estas arañas están colocadas en la parte exterior del cono y adoptan perfiles planos u ondulados.

El perfil plano es adecuado para arañas con suspensión por puntos y el ondulado para la suspensión continua.

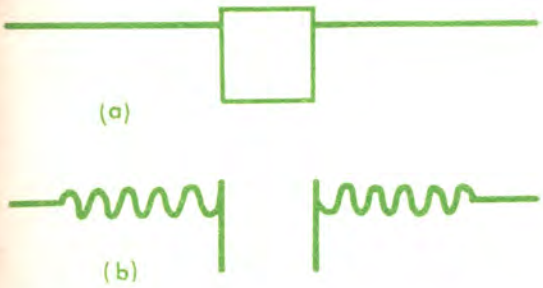
A veces el sistema de suspensión de este tipo de arañas admite el reajuste del centrado, sea actuando directamente sobre los tornillos de sujeción, sea indirectamente moviendo sus soportes.

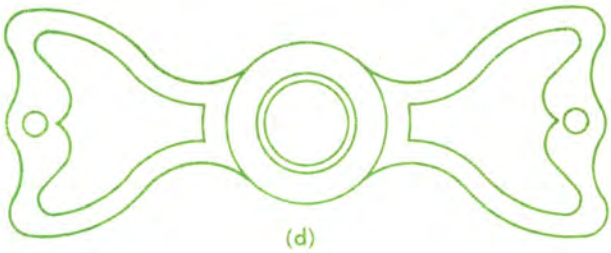
b) ARAÑAS DE SUSPENSIÓN INTERNA. El perfil de este tipo de arañas sólo puede ser plano. Están colocadas sobre el cuello del cono en su parte interior.

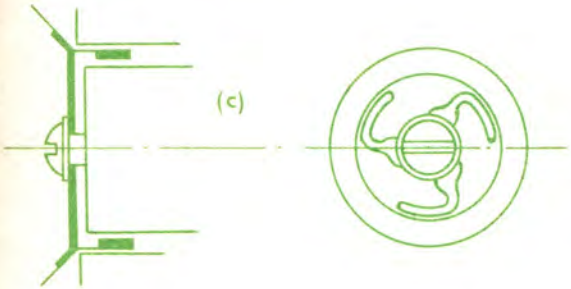
Tienen poca flexibilidad debido a su perfil plano, por lo que no pueden llevar este tipo de araña los altavoces cuya parte móvil deba sufrir desplazamientos relativamente grandes (altavoces de graves); el sistema, por tanto, está limitado a las unidades de pequeño tamaño.

El reajuste de estas arañas se efectúa por medio del tornillo central de sujeción.

Otra misión a cumplir por la araña es impedir la penetración de polvo en el entrehierro con el fin de evitar el zumbido por roce del cono. Serán, pues, todas impermeables al polvo.





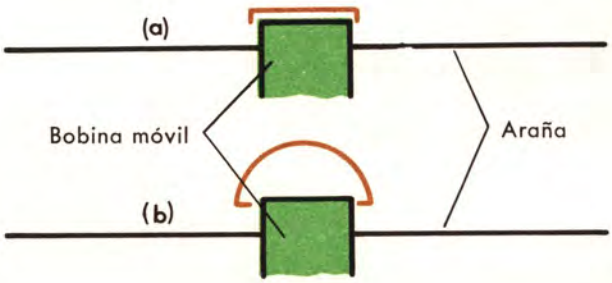


a) Araña de perfil recto.
b) Araña de perfil ondulado.
c) Araña de fijación central.
d) Araña de fijación exterior.

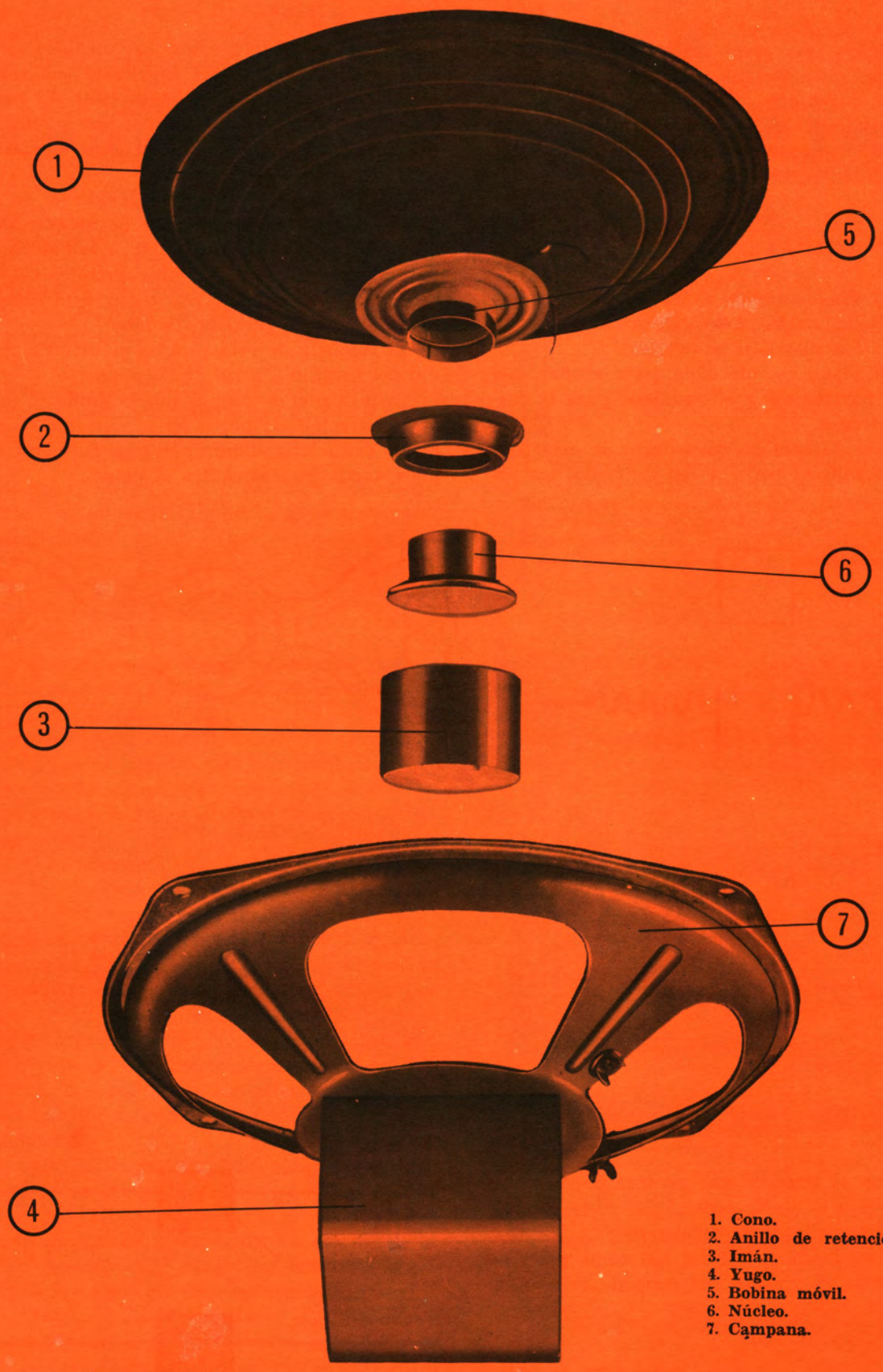
TAPAS DE RETENCION DE POLVO

Su misión es impedir que penetre polvo en el entrehierro por la parte central del cono, por el interior del agujero de la bobina móvil.

Está colocada en el interior del cono, precisamente tapando el agujero del tubo de la bobina móvil.



Tapas de retención de polvo.



1. Cono.
2. Anillo de retención.
3. Imán.
4. Yugo.
5. Bobina móvil.
6. Núcleo.
7. Campana.

Despiece de un altavoz autodinámico.

OTROS TIPOS DE ALTAVOCES

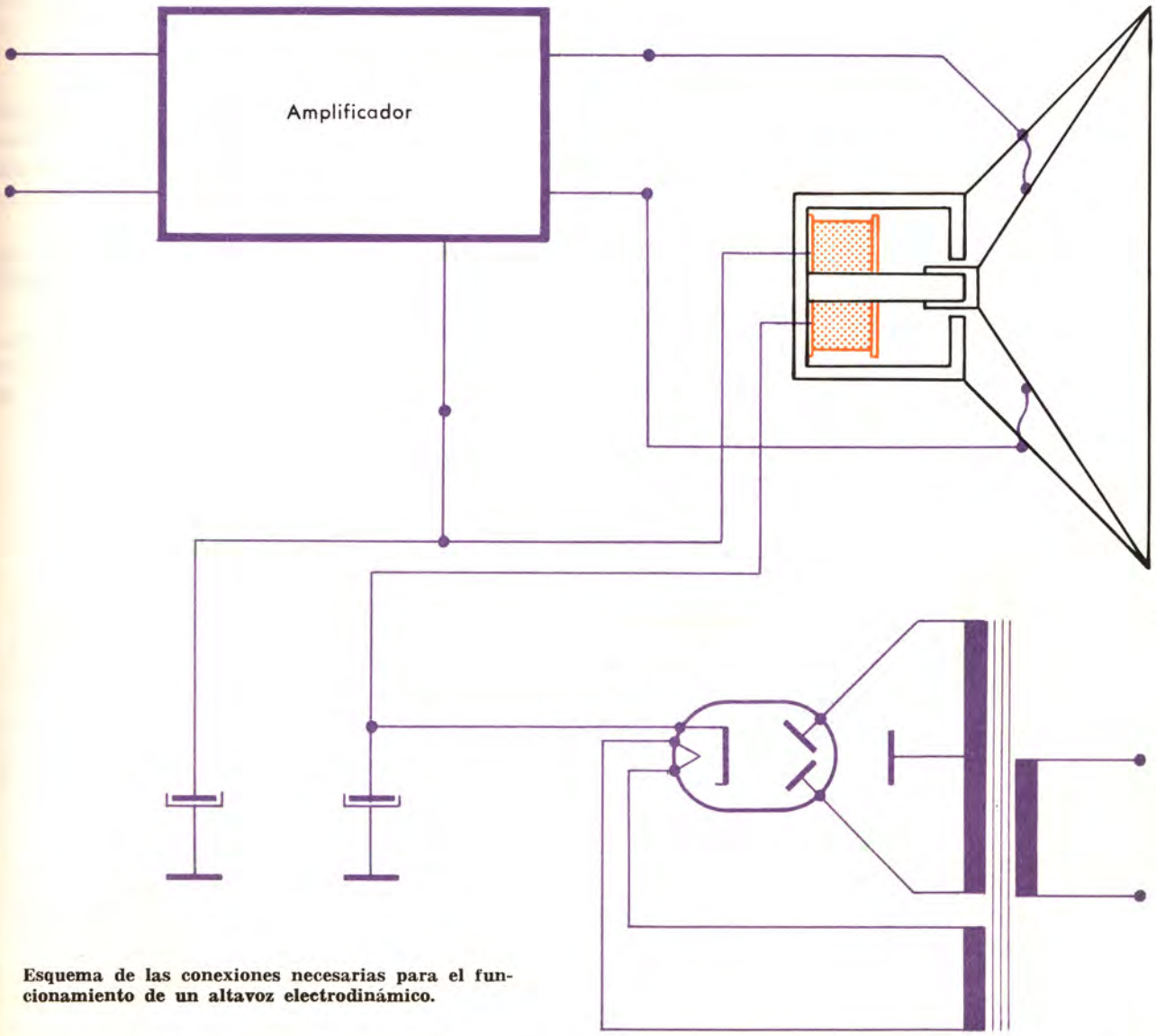
Sólo a título informativo describiremos otros tipos de altavoces, puesto que raramente son utilizados en sistemas convencionales de alta fidelidad. Considerando por tanto innecesario su estudio exhaustivo, nos limitaremos a ennumerar su principio de funcionamiento.

Altavoces electrodinámicos

El altavoz electrodinámico está basado en el mismo principio de funcionamiento que el altavoz dinámico de imán permanente. La diferencia estriba en que el altavoz dinámico el imán permanente crea el campo magnético necesario para la reacción de la bobina móvil cuando por la misma pasa corriente, mientras que en el electrodinámico una bobina fija, ubicada en el mismo sitio donde se encuentra el imán permanente en los dinámicos, crea el campo.

La corriente necesaria para que esta bobina cree el campo acostumbra obtenerse haciéndola componente del circuito de filtro de la fuente de alimentación del amplificador, en el que actúa como inductancia de filtro. Véase esquema de montaje.

Actualmente este tipo de altavoz está por completo fuera de uso en los equipos destinados a la reproducción en alta fidelidad.



Esquema de las conexiones necesarias para el funcionamiento de un altavoz electrodinámico.

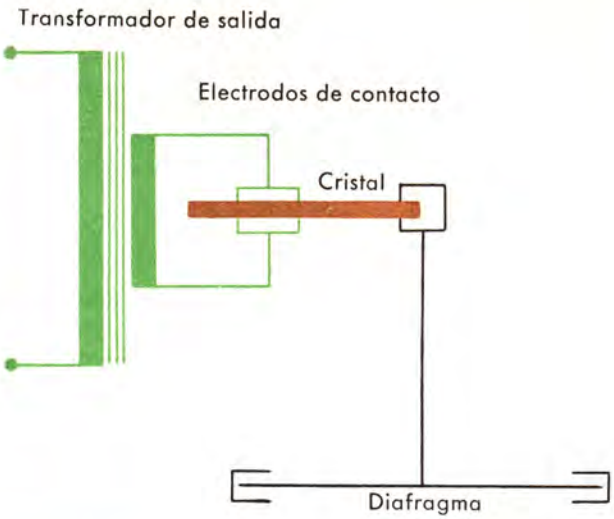
Altavoces de tipo cristal

En estos altavoces la tensión de la etapa de salida se aplica a las caras laterales de unas láminas de cristal de sal de la Rochelle, unidas mecánicamente a un diafragma que vibra con las deformaciones que sufren las láminas de cristal al aplicarles la tensión de salida.

No reproducen toda la gama de audio; únicamente se aplican como reproductores de las notas agudas.

El motivo de este comportamiento es que se comportan como una carga capacitiva frente a la etapa de salida, y por tanto es díficil aplicarles potencia activa, en especial a frecuencias bajas.

Son raramente utilizados en equipos de alta fidelidad comerciales, aunque algún equipo profesional los emplea como reproductores de agudos.



Altavoces del tipo condensador o electrostáticos

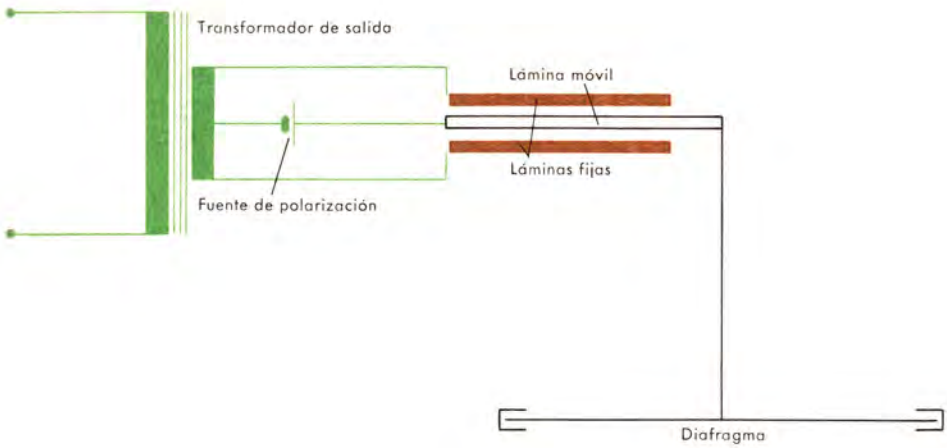
Su principio de funcionamiento está basado en la ley de acción de cargas eléctricas. Sabemos que dos láminas metálicas cargadas eléctricamente se atraen si la carga que contienen es de signo opuesto y se repelen si es del mismo signo.

Consideremos el esquema de la figura. La pila conectada a la toma intermedia del transformador polariza positivamente la lámina central móvil. Las otras dos láminas, que son fijas, están conectadas a los bornes extremos del transformador.

Cuando el borne superior del transformador es positivo la lámina superior repele a la central, también positiva, y la obliga a desplazarse hacia abajo; al mismo tiempo la lámina inferior es negativa y atrae a la lámina central móvil, ayudada en su movimiento descendente por esta segunda acción.

Mecánicamente unido a esta lámina central está un diafragma que vibra con ella, y por tanto acorde con la tensión de salida.

Tienen una respuesta mucho más amplia que los altavoces de cristal. Algunas unidades de estos altavoces pueden reproducir toda la gama de audio.



El altavoz electrostático "Quad", se reproduce toda la gama de audio.

CARACTERISTICAS DE UN ALTAVOZ

Las características más importantes de un altavoz son:

1. Impedancia.
2. Respuesta de frecuencia.
3. Potencia admisible.

Impedancia

La impedancia de un altavoz depende del tipo de que sea, y dentro de cada tipo de la forma de construcción.

Los altavoces dinámicos usuales tienen impedancias comprendidas entre 2 y 20 ohmios.

Esta característica está dada por el fabricante de la siguiente forma:

Impedancia a 1000 ciclos: 8 ohmios, cuyo significado es: esta unidad ofrece a una frecuencia de 1000 ciclos por segundo una carga equivalente a una impedancia de 8 ohmios.

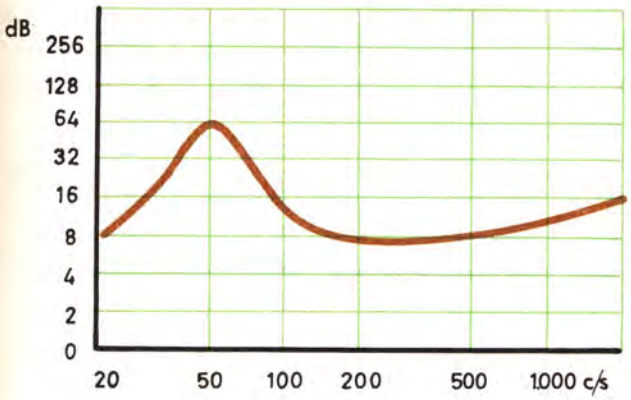
Existen unidades dinámicas con impedancias muy superiores a las indicadas más arriba. Estas unidades se aplican directamente a la válvula o válvulas de salida sin emplear transformador.

Los factores que determinan la impedancia de un altavoz son:

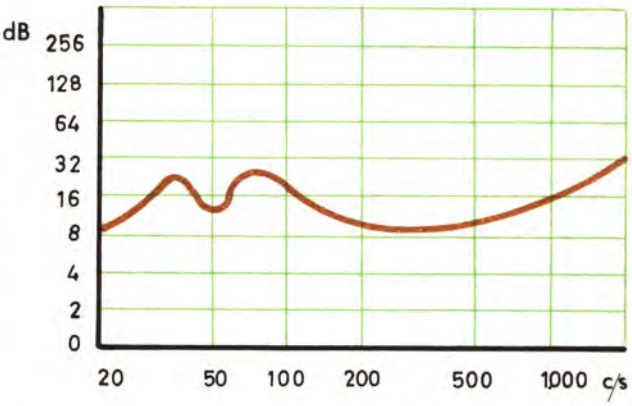
1. La resistencia del hilo de la bobina móvil.
2. La autoinducción de la bobina móvil.
3. Las corrientes inducidas en la bobina móvil a causa de sus desplazamientos dentro del campo de excitación.

Puesto que la bobina móvil arrastra en su movimiento al cono y a la masa de aire que le rodea, se comprende que los desplazamientos de la bobina móvil estarán condicionados por la constitución del altavoz (masa del cono, elasticidad de la suspensión, etc.) y también por el gabinete en que está confinado el altavoz con un cierto volumen de aire.

Estos factores influyen, pues, de acuerdo con el apartado 3, en la impedancia de los altavoces; y se procura con un diseño adecuado que tiendan a mantenerla constante dentro de la gama de audio, pues toda variación en la impedancia del altavoz se traduce en variación de la recta de carga de la válvula de salida con los consiguientes aumentos de distorsión.



Altavoz desnudo.



Altavoz en el gabinete.

Las figuras muestran cómo se reducen las variaciones de impedancia de un altavoz en función de la frecuencia al incluirlo en un gabinete. (De "Hi-Fi Handbook", de W. Boyce.)

Respuesta de frecuencia

Esta característica tiene suma importancia en miras a la obtención de una buena reproducción. La respuesta de un altavoz simple, como los descritos, no puede abarcar toda la gama de audio. Para conseguirlo es preciso recurrir a la combinación de varios altavoces simples con respuestas de frecuencia adecuadas, o bien a emplear unidades múltiples que abarquen toda la gama.

Esta característica la da el fabricante en una curva como las de la figura inmediata que representa, para cada frecuencia, la relación entre la intensidad sonora que produce una determinada potencia aplicada en bornes del altavoz y otra intensidad tomada como referencia. Naturalmente, es-

ta relación se da en decibelios y la escala de frecuencias es logarítmica.

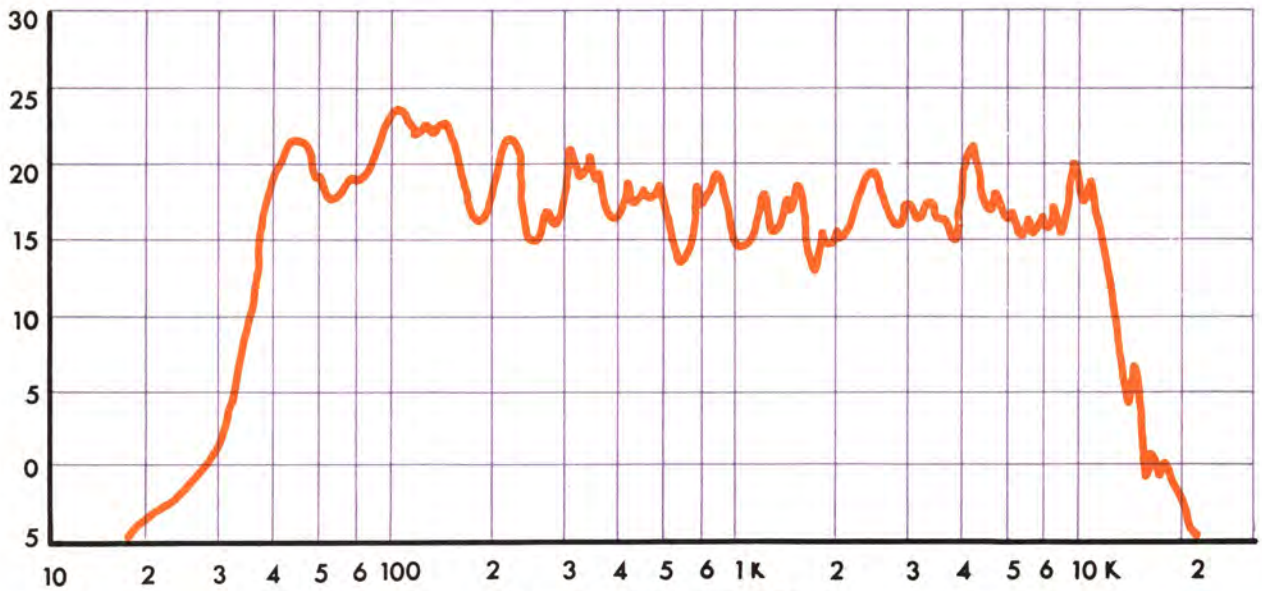
La curva de respuesta de frecuencia se obtiene automáticamente de un aparato que realiza las funciones de suministrar potencia al altavoz a cada frecuencia, medir la potencia sonora que genera, convertir esa potencia de nuevo en señal eléctrica y, finalmente, emplear un transductor electromecánico que convierte la señal eléctrica en energía mecánica que impulsa el estilete trazador de la curva.

El fabricante, junto con la curva, da además las condiciones en que ha sido obtenida y la frecuencia de resonancia del cono del altavoz en estas condiciones. En la parte inferior de la curva pueden verse estos datos.

La frecuencia de resonancia de un altavoz es la frecuencia material de vibración del cono y de la bobina móvil.

Si una varilla elástica, fija por un extremo, se separa de su posición de equilibrio y luego se suelta bruscamente, oscilará a uno y otro lado de su posición de equilibrio con una determinada frecuencia.

Del mismo modo el cono y la bobina móvil, que están suspendidos elásticamente del resto del altavoz, oscilan con cierta frecuencia después de haber recibido un impulso que los haya separado de su posición de equilibrio. Esa frecuencia es la frecuencia de resonancia del altavoz; es un dato importante porque marca el límite inferior de la curva de respuesta del altavoz. Es decir, el altavoz es inoperante para frecuencias inferiores a la de resonancia.

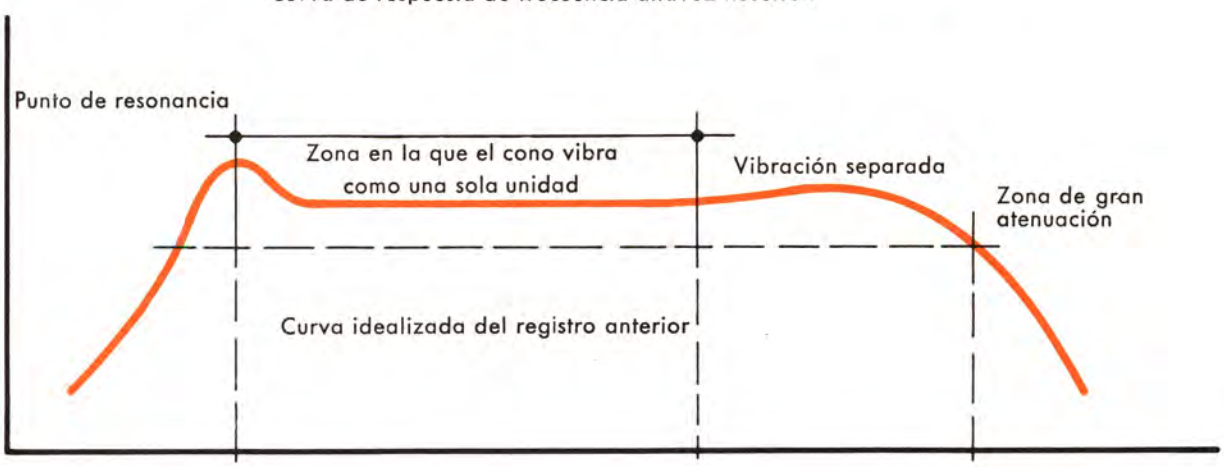


Registro automático de repuestas de frecuencias Brüel & Kjoer tipo 2310

Altavoz modelo AF 10" DFC

Condiciones.- Montado en caja Bass Reflex

Curva de respuesta de frecuencia altavoz Roselson



La frecuencia de resonancia depende en esencia de las características geométricas del cono. En general podemos afirmar que la frecuencia de resonancia de un altavoz es inversamente proporcional al diámetro de su cono. Sin embargo, para unidades con las mismas dimensiones, las resonancias dependen de detalles de construcción general, y en forma especial del mencionado cono.

Un cono muy rígido tiene resonancia a una frecuencia más elevada que un cono suave. Una suspensión fuerte del cono es objeto de aumento en la frecuencia de resonancia.

De lo anterior podemos deducir que todo lo que tienda a hacer más suave y ligero el desplazamiento del conjunto móvil del altavoz hace descender la frecuencia de resonancia, y por tanto actúa favorablemente sobre la respuesta de la unidad, ya que ensancha su banda. Lo que aumente la rigidez del conjunto móvil aumenta la frecuencia de resonancia y actúa, por tanto, desfavorablemente.

Hasta el momento hemos hablado sólo de las frecuencias inferiores que reproduce un altavoz. Veamos ahora qué ocurre en el extremo superior.

El gran tamaño del cono que exige la expansión de la banda hacia las bajas frecuencias actúa en perjuicio de las frecuencias altas por la aparición de ondas longitudinales a lo largo de la membrana. Las ondas longitudinales aparecen de la siguiente manera: para frecuencias muy bajas, el cono se desplaza en su totalidad; pero a medida que la frecuencia aumenta llega un momento en que antes de que hayan podido desplazar las partes exteriores del cono en un determinado sentido el centro tiene que desplazarse en sentido contrario, engendrando entonces las ondas antedichas.

Vemos cómo en frecuencias altas no vibra todo el cono, sino tan sólo una parte del mismo, porción que va reduciéndose a medida que la frecuencia aumenta y queda limitada para las frecuencias más elevadas exclusivamente al contorno de la bobina, motivo por el que en algunas unidades existe un radiador para las altas frecuencias en el centro del cono.

En definitiva, pues, un cono de grandes dimensiones no es adecuado para reproducir las notas agudas.

Para mejorar el alcance de altas frecuencias se han ideado tipos de cono con sección bastante diferente a la troncocónica que normalmente tienen las unidades simples.

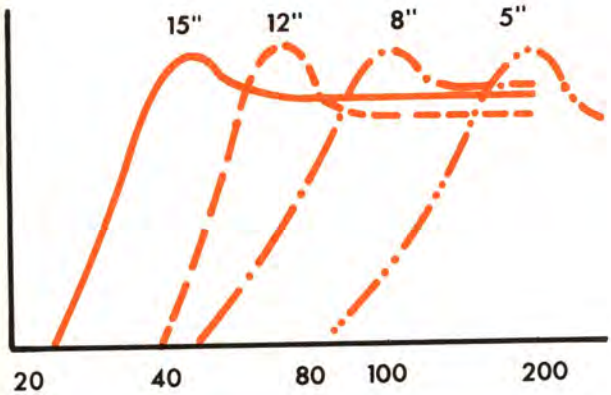
Todos ellos presentan la ventaja de dar mejor respuesta los agudos que el tipo de sección recta, aunque presentan un común inconveniente: el ser incapaces de radiar idéntica potencia a la de un cono recto de las mismas dimensiones.

Todas estas variaciones introducidas en el diseño de altavoces tienen su repercusión correspondiente en la curva de respuesta de frecuencia y varían el alcance de la unidad. Será, pues, interesante interpretar correctamente esta curva, tarea que llevamos a cabo a continuación.

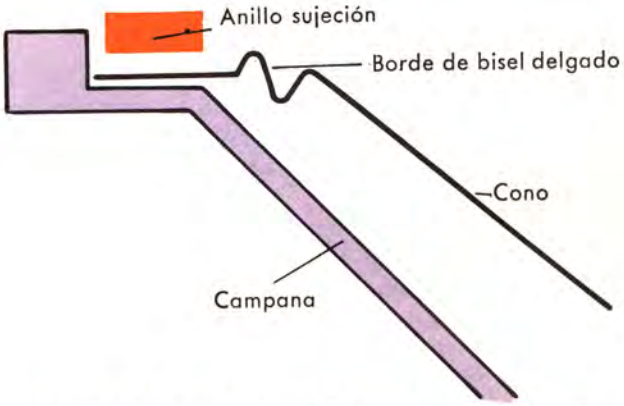
En las bajas frecuencias, al iniciar la curva, encontramos un máximo; éste es el punto de resonancia del cono. Siguiendo la curva de izquierda a derecha veremos una serie de oscilaciones más o menos profundas, para llegar finalmente en el extremo derecho a la frecuencia de corte.

Para que un altavoz sea de una calidad correspondiente a la alta fidelidad, el máximo de la frecuencia de resonancia no debe exceder en más de 5 db al mínimo que le sigue. Las oscilaciones de las curvas carecen de importancia siempre que entre una cresta y un valle próximos de las mismas no haya una distancia mayor de 10 db; en unidades menos elaboradas, en que las exigencias son menos severas, pueden permitirse hasta 15 db.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, podemos sustituir la curva verdadera por otra uni-



Efecto del tamaño del cono sobre la frecuencia de resonancia.



Forma de sujetar la hoja del cono en la campana

forme idealizada constituida por un máximo en la frecuencia de resonancia, una parte recta en el centro de la banda y finalmente una parte descendente en el extremo de las altas frecuencias.

La frecuencia de corte es aquella para la que la salida del altavoz es aproximadamente de 3 a 5 db inferior a la representada por la recta sustitutiva de la respuesta para el centro de la banda.

Con esto dejamos por el momento la respuesta de frecuencia, cuestión que abordaremos de nuevo al ver de qué forma podemos reproducir toda la banda sonora.

CONO NORMAL

CONO CURVILINEO O EXPONENCIAL

CONO DE TIPO PLANO

Potencia admisible

La potencia admisible de un altavoz es otro dato que nunca falta en las características dadas por el fabricante; y hay que tenerlo muy en cuenta antes de conectar el altavoz a un amplificador, pues si su potencia excede a la admisible por el altavoz éste se vería muy pronto perjudicado.

Esta característica está dada de la siguiente manera:

Potencia admisible, 18 W. Régimen, 10 W

El significado es el siguiente: el altavoz correspondiente puede admitir una potencia de 18 vatios durante un breve espacio de tiempo, mientras que un funcionamiento continuo no permite más que 10.

La potencia de un altavoz depende de sus dimensiones y forma constructiva. De dos altavoces del mismo diámetro, tiene potencia mayor el que presente un cono de sección recta frente al que tenga una sección elíptica o plana. Naturalmente, para un mismo tipo de cono la potencia admisible es función directa de las dimensiones.

Hasta aquí las características más importantes de un altavoz, aunque existen otros datos también a tener en cuenta.

OTRAS CARACTERISTICAS DE LOS ALTAVOCES

Características del campo magnético

Otro valor importante para una altavoz son las características del campo magnético creado por el imán permanente. El fabricante las da en la siguiente forma:

Flujo total, 55.000 maxwells
Densidad de flujo, 11.000 gauss

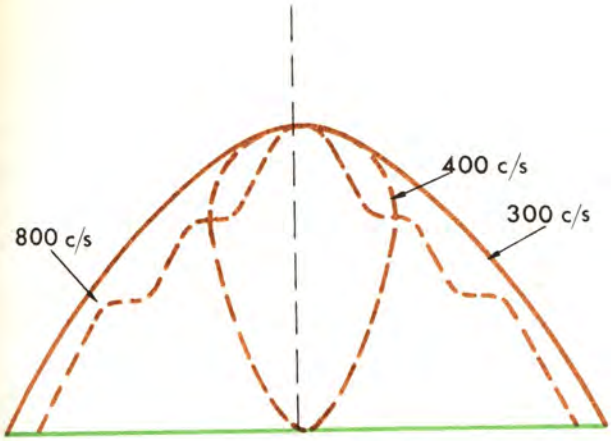
Para un buen altavoz de alta fidelidad sólo son aceptables valores muy poco inferiores a los dados, pues en otro caso el imán no sería lo bastante potente como para dar al altavoz la sensibilidad requerida.

Resistencia de la bobina móvil

Otro dato importante es la resistencia, en corriente continua, del hilo que constituye la bobina móvil. Esta resistencia determina la potencia disipada en calor por efecto Joule al paso de la corriente. Para un buen altavoz ha de estar comprendida entre 2 y 6 ohmios.

Directividad

Al igual que los micrófonos, los altavoces presentan cierta directividad en cuanto a la distribución de la energía sonora.



La directividad de un altavoz se expresa por medio de curvas similares a las que definían la directividad de los micrófonos, aunque en los altavoces esta falta de omnidireccionalidad depende en mucho mayor grado de la frecuencia que en los micrófonos.

Directividad de un altavoz con radiador de cono.

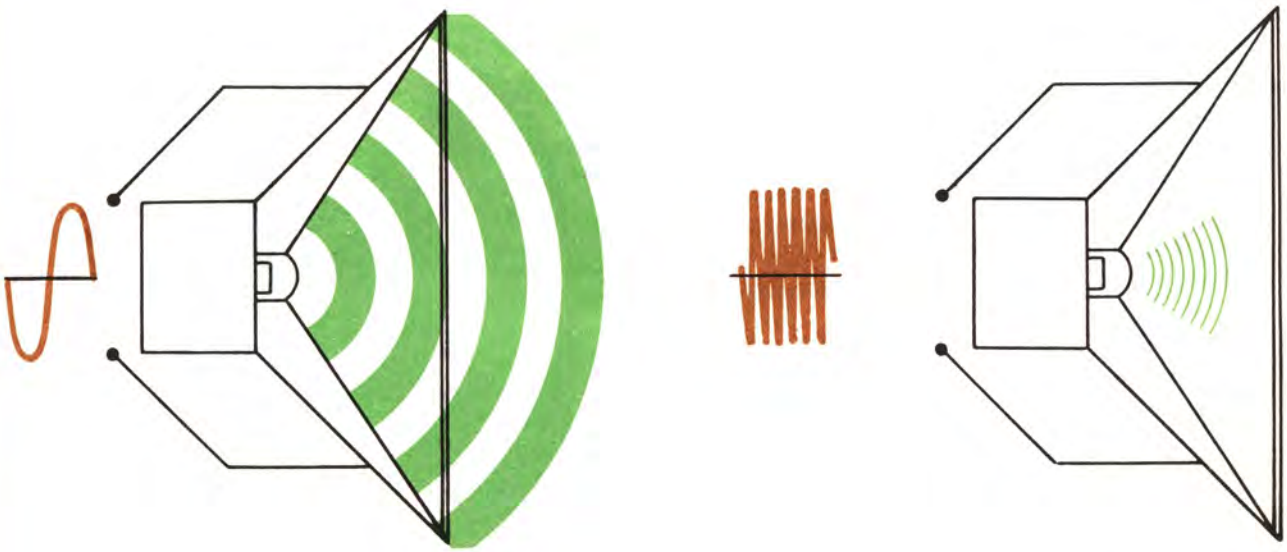
COMO CONSEGUIR LA REPRODUCCION DE TODA LA GAMA SONORA

Hemos visto cómo era prácticamente imposible, con un altavoz simple, obtener una buena respuesta para ambos extremos de las audiofrecuencias, puesto que las soluciones que extendían la banda por un extremo la restringían por el otro. Sin embargo, debemos tener en nuestras manos la posibilidad de reproducir toda la banda sonora, pues de lo contrario de nada nos servirá disponer de equipos que puedan amplificar todas las audiofrecuencias.

Podemos resolver de dos formas distintas el problema de la reproducción de todas las audiofrecuencias:

1. Formar la unidad de reproducción con dos o más altavoces, cada uno de ellos especial para reproducir una parte de la banda sonora y de manera que se complementen las bandas de los distintos altavoces; o bien,

2. Emplear altavoces con cono doble, coaxiales o unidades especiales.



En los altavoces de gran diámetro el rendimiento es bueno para los sonidos graves porque todo el cono se desplaza como una sola pieza; en cambio para los sonidos agudos sólo una pequeña porción del cono, periférica a la bobina móvil, radía energía acústica. El resto del cono se mueve de forma independiente o sencillamente no se mueve.

PRIMERA SOLUCION

Para adoptar esta solución tenemos que disponer de dos o más altavoces, cada uno de los cuales se destina a reproducir una parte de la banda.

Para tal efecto podemos dividir en la siguiente forma las frecuencias audibles:

a) Frecuencias graves y frecuencias agudas.

b) Frecuencias graves, frecuencias medias y frecuencias agudas.

Y entonces emplear un altavoz para reproducir cada una de las partes en que hemos dividido la banda (dos en el primer caso y tres en el segundo).

En el caso *a)* se necesita un altavoz especial para graves y otra para agudos. La frecuencia de cruce en este sistema con dos altavoces oscila entre 3000 y 4000 ciclos. Es decir, que el altavoz de graves reproduce una banda que abarca desde el extremo inferior de audio hasta 3000 ó 4000 ciclos y el altavoz de agudos desde estos 3000 ó 4000 hasta el extremo superior de audio.

En el segundo caso se necesita tres altavoces: uno para las notas graves, otro para las frecuencias medias y un último altavoz para las notas más agudas.

Para este sistema las frecuencias de cruce acostumbran ser de 800 a 1000 ciclos y de 3500 a 4000; o sea que el altavoz de graves reproduce frecuencias desde el extremo inferior de audio hasta 800 ó 1000 ciclos, el de medios desde 800 ó 1000 ciclos hasta 3500 ó 4000 y el de agudos desde 3500 ó 4000 hasta el extremo superior.

Veamos ahora las particularidades de cada uno de estos altavoces, cuya misión es reproducir únicamente una fracción del espectro sonoro.

ALTAVOCES ESPECIALES PARA LA REPRODUCCION DE NOTAS GRAVES

El único problema para obtener estos altavoces será el desplazar su frecuencia de resonancia hasta un valor suficientemente bajo para reproducir las notas más graves de audio.

Sabemos que esta frecuencia disminuye al aumentar las dimensiones del altavoz y en particular las del cono, por lo que estos altavoces serán los de mayores dimensiones.

Su curva de respuesta de frecuencia presenta el máximo hacia los 20 ciclos; la parte recta de la misma curva idealizada no se extenderá más allá de 3000 ciclos para presentar una frecuencia de corte cercana a los 4000.

En unidades dedicadas especialmente a sistemas con más de dos altavoces, la banda pasante del altavoz de graves llega tan sólo a 1000 ciclos.

Para obtener en estos altavoces las respuestas mencionadas han de montarse en *baffles* especiales, pues de lo contrario la respuesta para las notas graves queda francamente reducida. Del estudio de los *baffles* nos ocuparemos más adelante.

Su diámetro ha de tener un mínimo de 30 centímetros (unas 12"). Aunque existen unidades con dimensiones algo inferiores y respuestas bastante buenas, tómense de ordinario las 12" como límite inferior.

El cono ha de ser rígido, pero su suspensión será tanto más adecuada cuanto más suave sea, motivo por el que este tipo de altavoces tienen unas corrugaciones sumamente delgadas y flexibles en el extremo superior del cono.

En su casi totalidad los altavoces para graves son actualmente del tipo dinámico.

Dos altavoces para graves, el "Audiom" 61 y 81, respectivamente, de Goodmans. Puede apreciarse lo macizo de la construcción.

ALTAVOCES PARA FRECUENCIAS MEDIAS

Estos altavoces son los que dan una solución más fácil al problema de poseer una banda pasante adecuada, por no tener que estar extendida hasta ningún extremo de la gama de audio.

Puede emplearse como tal cualquier altavoz de alta fidelidad con una frecuencia de resonancia no superior a 200 ciclos y una frecuencia de corte comprendida entre 6000 y 8000 ciclos.

La inmensa mayoría de estos altavoces son dinámicos, aunque existen algunas unidades de condensador que pueden adaptarse perfectamente a esta banda aun permitiendo mayores exigencias en las frecuencias más agudas.

No presentan ninguna característica que merezca especial atención.

Puede utilizarse como altavoz para medios cualquier altavoz de alta fidelidad de diámetro comprendido entre 6 y 10 pulgadas.

En ocasiones se emplean radiadores de trompeta a causa de su mayor rendimiento. Esta solución, sin embargo, es más general en el caso de los altavoces para agudos.

Dos altavoces para medios: el AF 8" con radiador de cono y el AFR2T con radiador de trompeta (Roselson).

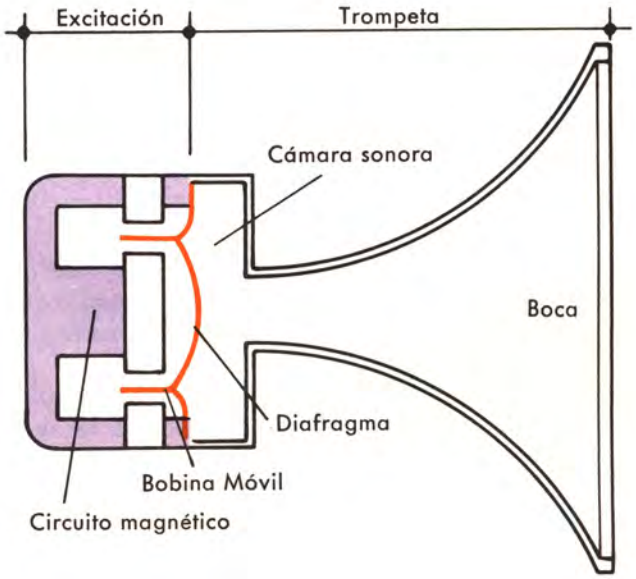
ALTAVOCES PARA AGUDOS

Sabemos que la reproducción de las frecuencias más elevadas está favorecida por un cono de pequeñas dimensiones. Sin embargo, no todos los altavoces pequeños son adecuados en la técnica de la alta fidelidad, pues aunque reproducen las notas agudas, no lo hacen siempre con el nivel de potencia necesario y por tanto con resultados plenamente satisfactorios.

Las unidades especialmente diseñadas para la buena reproducción de los agudos son del tipo trompeta.

Estos altavoces del tipo trompeta tienen una estructura general como la indicada esquemáticamente en la figura. A poco que nos fijemos en ella podremos apreciar dos partes esenciales: la de excitación y la trompeta.

La excitación es del tipo dinámico, con la característica de poseer una bobina móvil de dimensiones relativamente grandes y una densidad



de flujo mayor que las unidades destinadas a la reproducción de bajas frecuencias. Podemos apreciar también un diafragma de reducida superficie de radiación y una cámara sonora muy pequeña. El material que constituye el diafragma puede ser metal o baquelita.

La trompeta está unida mecánicamente a la excitación del altavoz y actúa de gabinete acústico para el conjunto reproductor.

En unidades de este tipo se obtienen generalmente 20.000 ciclos con una frecuencia de resonancia del orden de 3000 ó 4000 ciclos, con lo que la gama de audio queda ya completamente cubierta, como pretendíamos.

Con esta descripción de los tipos de altavoces simples con respuestas complementarias, dejamos sentada la primera solución al problema planteado. Intentemos ahora la otra solución:

Altavoz para agudos con diagfragma de conos (Roselson).

Dos altavoces para agudos del tipo de trompeta, el AFRT1 de Roselson y el 5K/20XL de Goodmans.

SEGUNDA SOLUCION

ALTAVOCES ESPECIALES DE BANDA EXTENDIDA

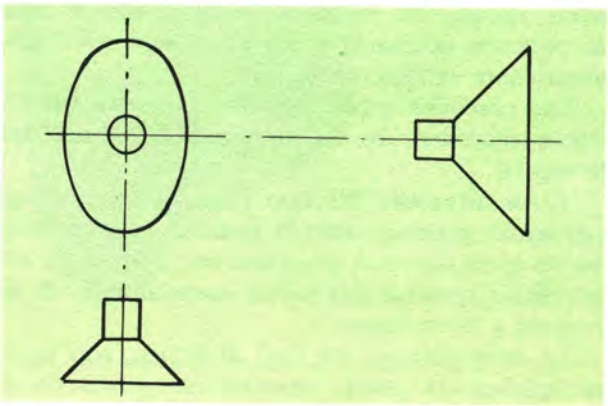
Hemos dicho que una solución al problema de la reproducción de todas las audiofrecuencias consistía en el empleo de altavoces únicos de diseños especiales. Veamos algunos de estos tipos.

ALTAVOCES ELIPTICOS

Un altavoz elíptico es una combinación de dos altavoces de diferentes diámetros. Actúa como un altavoz único con propiedades intermedias entre las que poseería un conjunto formado por dos altavoces de diámetros iguales al mayor y menor del elíptico y los de uno sólo de estos altavoces.

El diámetro mayor favorece la reproducción de las notas graves y el menos la de las agudas.

La forma de la sección del cono en los altavoces elípticos no es recta, sino exponencial, con el



fin de favorecer la respuesta de las frecuencias altas.

Los altavoces elípticos no proporcionan una solución satisfactoria al problema de la reproducción de toda la gama de audio, por cuanto su respuesta a las notas graves es deficiente. Sin embargo, cuando el problema espacio adquiere importancia aportan una solución bastante aceptable, aunque con resultado inferior al de las unidades especiales que seguidamente estudiaremos.

Podemos considerar el altavoz elíptico como una solución intermedia entre el empleo de un altavoz simple y una combinación con respuesta para todas las audiofrecuencias.

Al instalar un altavoz elíptico tendrá que hacerse de modo que su diámetro mayor quede en posición vertical para que el diámetro menor, horizontal, distribuya la energía de las frecuencias agudas en la mayor extensión.

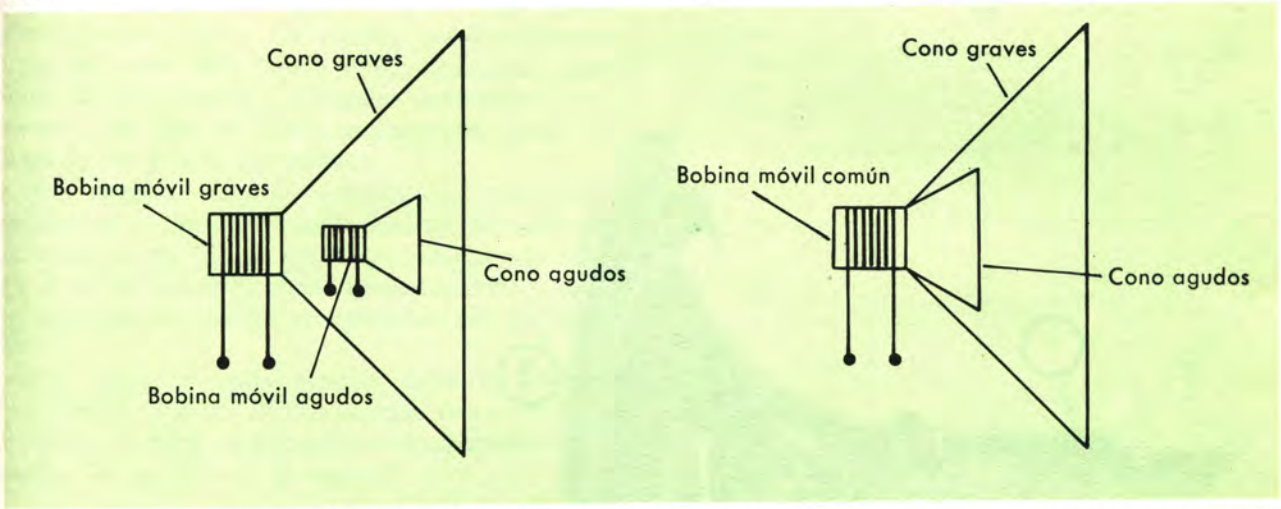
En un sistema de alta fidelidad en el que quiera conseguir resultados excelentes, a ser posible no se emplearán altavoces de este tipo.

ALTAVOCES COAXIALES

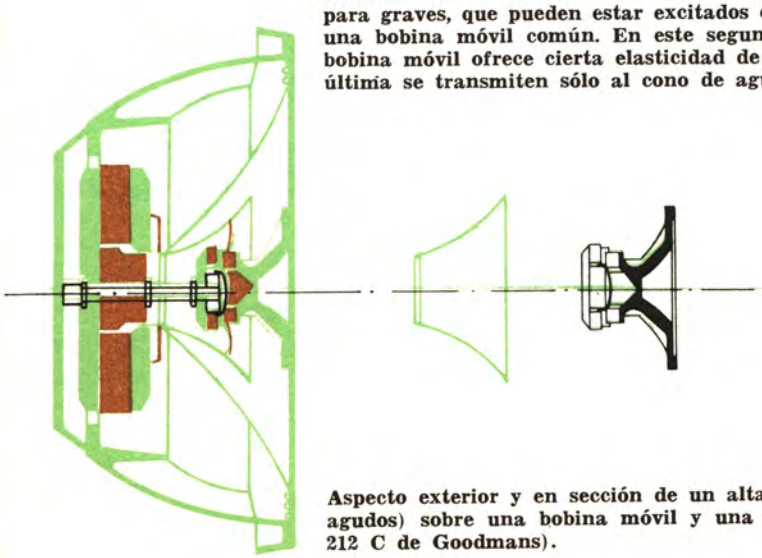
Los altavoces coaxiales están formados por una sola unidad doble que contiene en su interior dos altavoces colocados sobre un mismo eje. Uno de estos dos altavoces está destinado a la reproducción de las notas graves y el otro a reproducir las agudas.

Mediante esta disposición, con una sola unidad se consigue una respuesta de frecuencia plana para toda la gama audible.

La forma de colocar los dos altavoces sobre un mismo eje puede conseguirse de diferentes maneras.



Básicamente un altavoz coaxial está formado por dos conos, uno para agudos y otro para graves, que pueden estar excitados cada uno por su propia bobina móvil o bien por una bobina móvil común. En este segundo caso la unión entre el cono de graves y la bobina móvil ofrece cierta elasticidad de forma que las oscilaciones más rápidas de esta última se transmiten sólo al cono de agudos.



Aspecto exterior y en sección de un altavoz triaxial constituido por dos conos (graves y agudos) sobre una bobina móvil y una unidad de agudos del tipo de trompeta (Axion 212 C de Goodmans).

Simplemente pueden montarse dos conos separados, con sus correspondientes bobinas alimentadas independientemente. Pueden también montarse los dos conos con una sola bobina móvil, disponiendo el sistema de manera que para las frecuencias superiores sólo se excite el de agudos.

En las unidades menos elaboradas la disposición adoptada es la de un gran cono, correspondiente al altavoz de graves, en cuyo centro está montado otro cono pequeño para la reproducción de los agudos. La alimentación se efectúa con una sola bobina.

Otras unidades más costosas están constituidas por un cono grande de cuyo centro emerge una trompeta de agudos montada sobre su mismo eje.

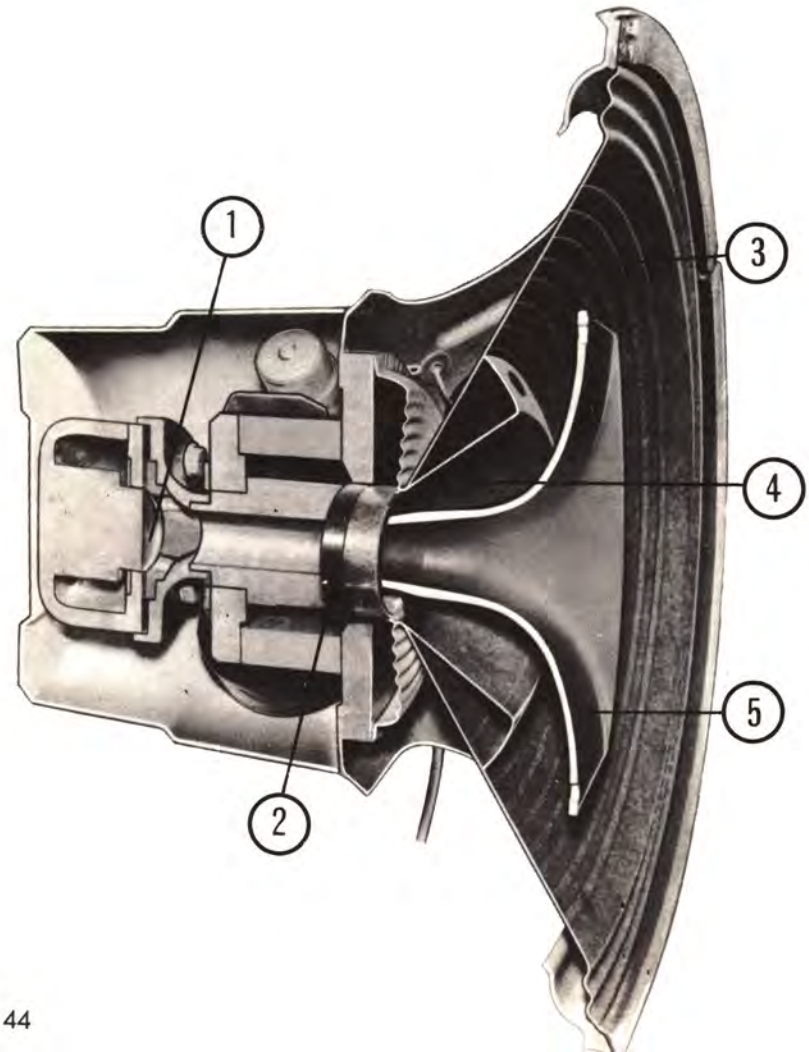
Existen también unidades llamadas triaxiales o múltiples que, como su nombre indica, están constituidas por tres unidades en un solo eje. En este tipo de altavoces compuestos, el altavoz añadido es el correspondiente a las notas medias. Las disposiciones que puedan adoptar los tres altavoces son las ya descritas para las unidades con dos elementos.

Con estas unidades múltiples puede conseguirse una reproducción completa de las audiofrecuencias con resultados satisfactorios para todo tipo de sistemas de alta fidelidad.

El objeto de montar los dos otros altavoces sobre un mismo eje estriba en que se considera conveniente tener una fuente sonora única con el fin de que todas las notas se perciban con igual potencia y aparentemente provengan de un mismo punto.

Desde luego esta conveniencia es una opinión no compartida por todos; no faltan quien prefiera los altavoces separados.

Con los altavoces coaxiales, desde luego, puede trabajarse en menor espacio, pero no olvidemos que en alta fidelidad cada uno tiene sus gustos sobre la conveniencia o no de que todas las frecuencias partan de un punto.



1. Diafragma de agudos.
2. Bobina móvil de graves medios.
3. Cono de graves.
4. Cono de medios.
5. Trompeta de agudos.

Una interesante fotografía de un altavoz triaxial seccionado (AF 12" 3XL de Roselson).

REDES DIVISORAS ELECTRICAS

Con las dos soluciones enunciadas el problema de reproducir cualquier sonido, por lo menos teóricamente, está resuelto en el último eslabón del sistema, aunque al llevar a la práctica la primera solución nos encontramos con una pega. Si empleamos, por ejemplo, tres altavoces, ¿cómo debemos acoplarlos a la salida del amplificador? Una solución sería conectarlos en paralelo; pero en este caso llegan al altavoz de graves las mismas frecuencias que al de agudos, y si bien el primero reproduce perfectamente los graves, permanece impasible frente a los agudos, perdiéndose por lo tanto en él una parte de la energía correspondiente a las notas altas. Lo mismo podríamos decir del altavoz de agudos frente a los graves y del altavoz de medios con referencia a los extremos de la banda. En definitiva, conectando así los tres altavoces se perdería una energía considerable y por tanto el rendimiento del sistema sería muy bajo. Pero esto no es todo, sino que las cosas irían aún más lejos. En efecto; estos altavoces especiales para una banda determinada no sólo dejan de reproducir frecuencias exteriores a la misma, sino que de serles aplicadas se pone en juego la integridad del altavoz.

Por ejemplo: si a un altavoz de agudos con resonancia a 350 ciclos se le aplican frecuencias inferiores a los 300 ciclos, se está atentando contra su existencia. Este efecto no es tan crítico para los altavoces de graves al aplicarles alta frecuencia.

Por tanto, a cada altavoz debe aplicársele únicamente la gama de frecuencias que puede reproducir, so pena de obtener un rendimiento muy malo y de perjudicar la unidad.

De aquí nace, pues, la necesidad de separar las frecuencias de la gama de audio.

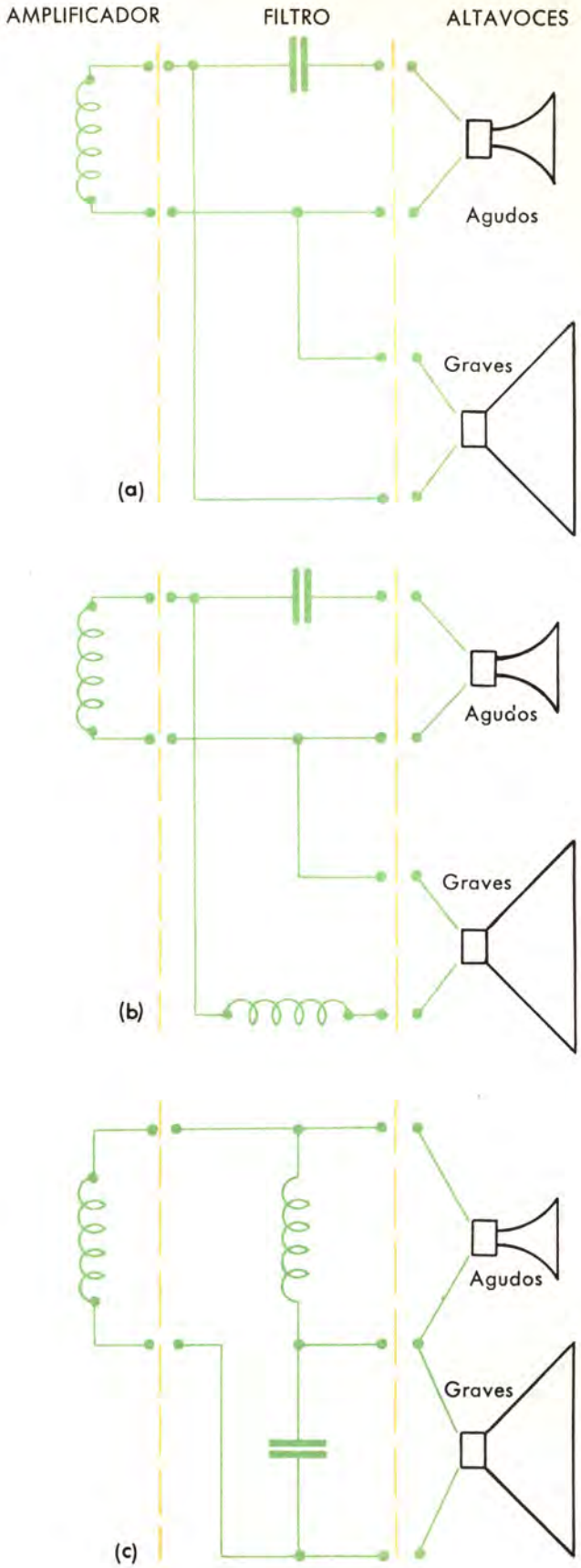
Esta misión es la que tienen en su funcionalidad las redes divisoras eléctricas.

Existen dos puntos en el sistema donde puede intercalarse estas redes divisorias con el fin de separar las frecuencias: dentro del amplificador (considerando como amplificador el primario del transformador de salida), o bien a la salida del amplificador.

Aquí sólo nos ocuparemos del segundo sistema, por cuanto el primero es estudiado en la parte correspondiente a los amplificadores.

Describiremos, pues, las redes divisoras del segundo tipo más empleadas, empezando por las más simples.

Quizá la red más simple que podemos obtener es la esquematizada en la figura *a)*, formada por un solo condensador en serie con el altavoz de



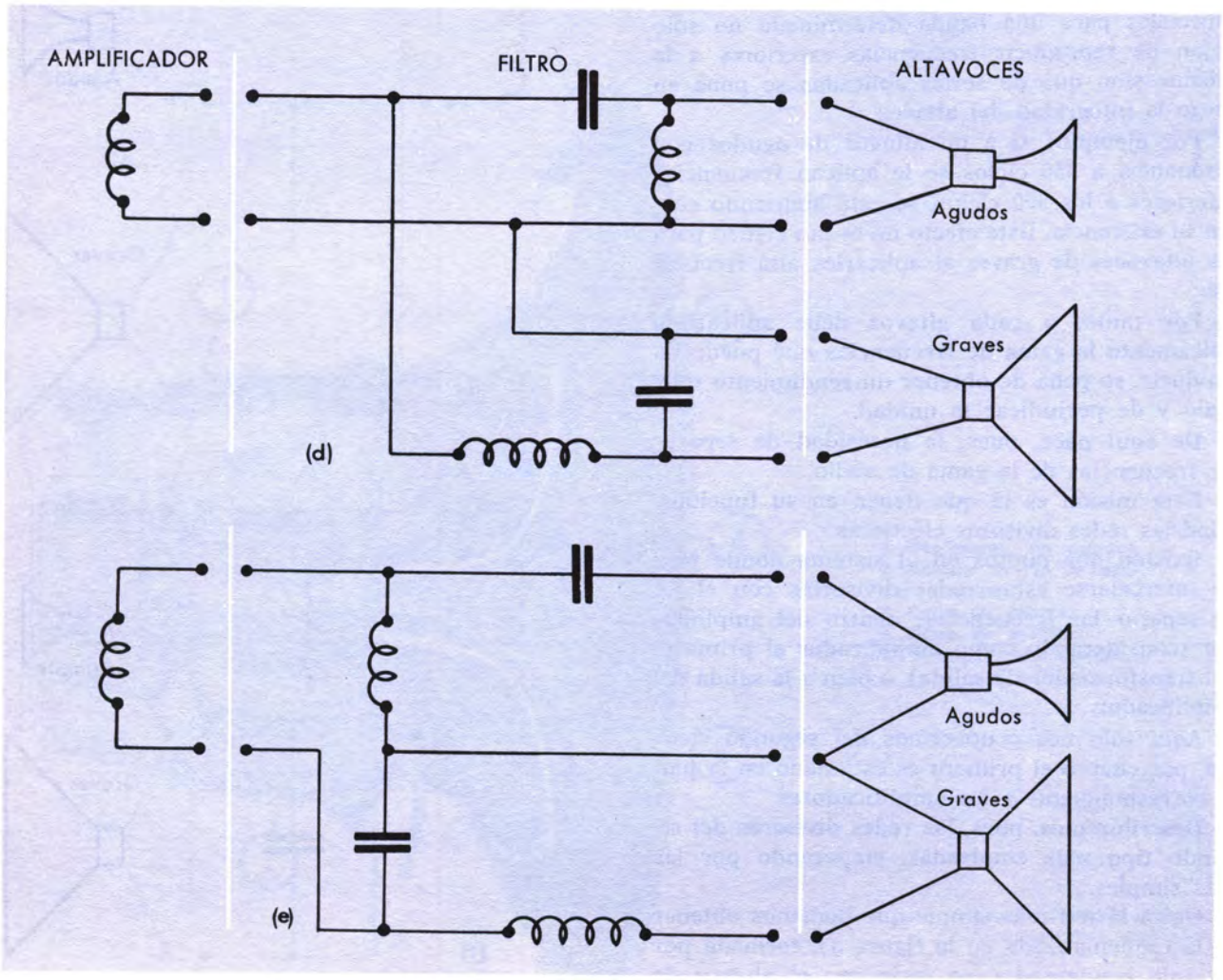
agudos. Como la reactancia capacitiva (resistencia de un condensador a la corriente alterna) disminuye con la frecuencia, el condensador serie actuará de manera que ofrece una resistencia muy pequeña a las altas, dejando por tanto que éstas le atraviesen fácilmente, a la vez que impide el paso a las bajas. En resumen, el condensador en serie es un filtro de paso alto (deja pasar las altas frecuencias y bloquea las bajas). De este modo a la unidad de agudos sólo llegan las frecuencias que deje pasar el condensador, o sea las altas, mientras que la de graves recibirá toda la banda.

Podemos modificar esta red divisora, y evitar la llegada de las altas frecuencias a la unidad de graves, colocando en serie en su circuito una inductancia, puesto que ésta actúa de filtro paso bajo (deja pasar las bajas frecuencias y bloquea las altas). El esquema correspondiente está en la figura *b)*.

Otro sistema parecido al anterior, pero alimentando en serie los altavoces, es el de la figura *c)*. El condensador en paralelo actúa de filtro pasa bajo, ya que deriva las altas frecuencias, y la inductancia de filtro, de *pasa alto*.

Un filtro más elaborado y de mejores resultados es el esquematizado en la figura *d)*, en el que la alimentación de los dos altavoces se realiza en paralelo. En él podemos observar que el filtro para cada banda está constituido por una combinación de un filtro simple con un elemento serie y otro filtro simple con un elemento en paralelo. Por ejemplo, el filtro total para el altavoz de graves está constituido por una inductancia serie (filtro pasa bajo) y un condensador paralelo (filtro pasa bajo). Colocando de esta manera los filtros pasa bajo en serie, se obtiene una atenuación doble en los filtros simples para las frecuencias bloqueadas.

Caso de querer alimentar los dos altavoces en serie, el filtro correspondiente al últimamente indicado es el de la figura *e)*.



FRECUENCIA DE CRUCE O TRANSICION

Si mediante un generador de señales de B.F. estudiamos la curva de respuesta del conjunto de amplificador y filtro, ésta será distinta, naturalmente, según que la tensión de salida se mida en el canal de graves o en el de agudos.

Pues bien, estas dos curvas de respuesta deben ser complementarias de forma que consideradas en conjunto la respuesta total del sistema sea plana en toda la gama de audio.

Para ello es preciso que la frecuencia superior de corte del canal de graves coincida con la inferior de corte del canal de agudos. A esa frecuencia se la denomina *frecuencia de cruce o transición.*

Si tenemos en cuenta que en las frecuencias de corte la tensión de salida queda reducida por el factor $1/\sqrt{2}$ y que lo mismo ocurre con la intensidad, que es proporcional a ella, la potencia queda reducida en el factor:

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2}$$

es decir, a la mitad.

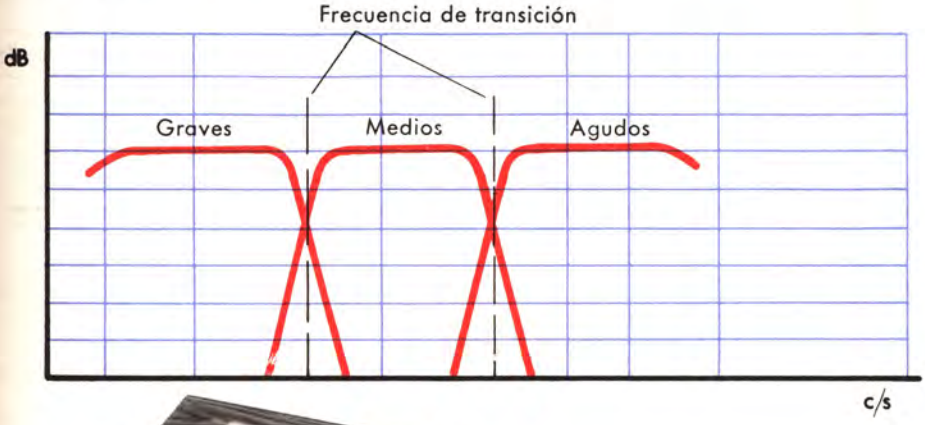
A la frecuencia de transición, pues, la mitad de la potencia del amplificador se desvía hacia el canal de graves y la otra mitad hacia el de agudos.

La figura ilustra las características de un filtro cuya frecuencia de transición se supone de 1000 c/s.

Cuando se utiliza un filtro de tres canales en lugar de dos existen dos frecuencias de cruce: la correspondiente a los canales de graves y medios y la correspondiente a medios y agudos.

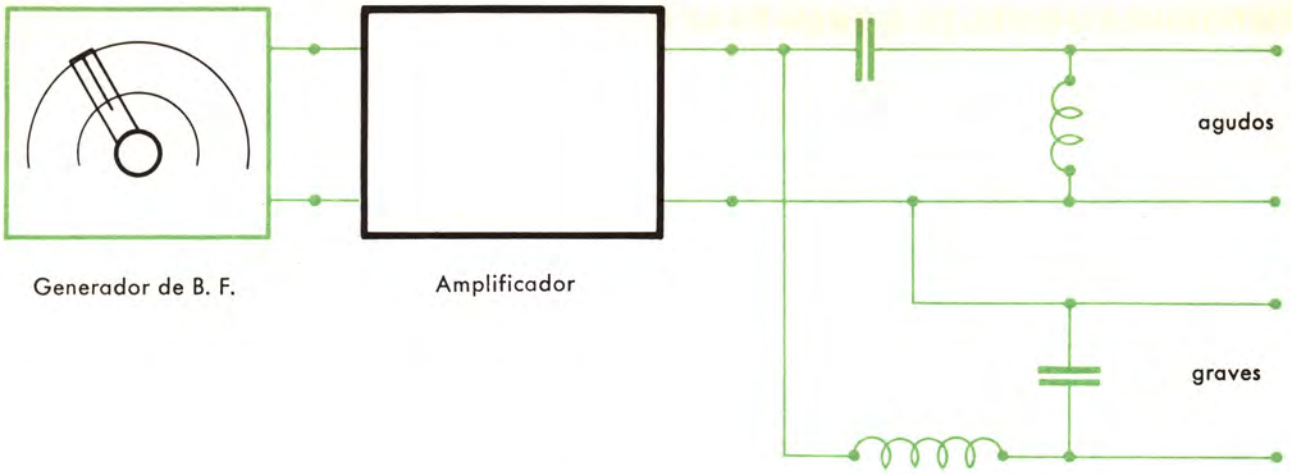
Puede ocurrir que un filtro esté perfectamente equilibrado y que sin embargo el sonido que proporcione el equipo reproductor resulte chillón a causa de un predominio de los tonos agudos.

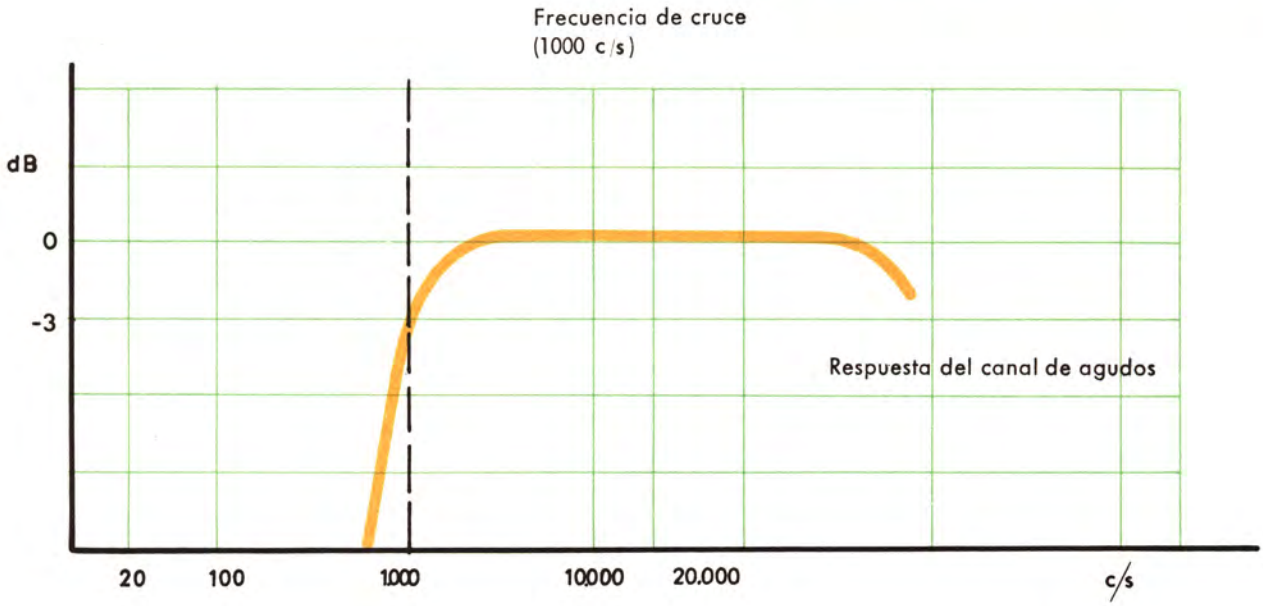
Ello es debido a que los altavoces de agudos y medios, sobre todo si son del tipo de trompeta, tienen mayor rendimiento que el de graves. En estos casos el equilibrio se consigue añadiendo sendos atenuadores en los canales de agudos y medios de forma que sea posible reducir la cantidad de energía que reciben los correspondientes altavoces.

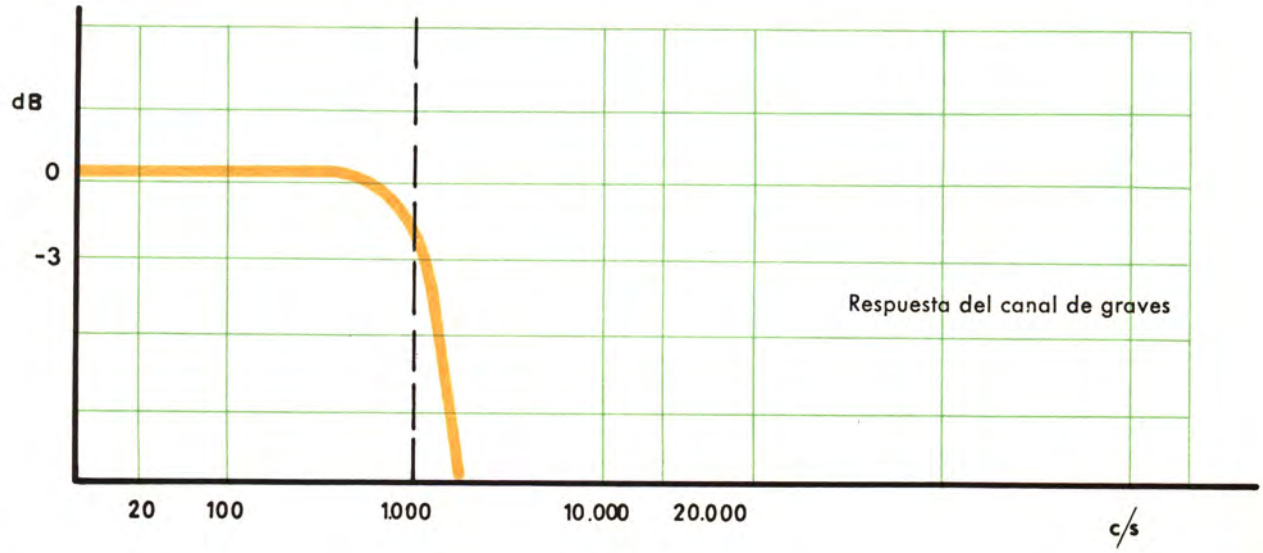


Un filtro de tres canales tiene dos frecuencias de transición.

De ordinario, los propios fabricantes de altavoces suministran los filtros adecuados para ellos. En la fotografía aparece un filtro de dos canales y otro de tres provistos además de los correspondientes atenuadores, uno para el canal de agudos en el primer caso y dos para el de agudos y medios en el segundo (Roselson).


agudos
graves
Generador de B. F.
Amplificador


Frecuencia de cruce
(1000 c/s)
dB
0
-3
Respuesta del canal de agudos
20
100
1.000
10.000
20.000
c/s


dB
0
-3
Respuesta del canal de graves
20
100
1.000
10.000
20.000
c/s

CONSIDERACIONES DE ORDEN PRACTICO

A pesar de existir otros tipos de filtros además de los descritos, éstos son los básicos y los normalmente empleados en los sistemas de alta fidelidad. Todos estos filtros pueden encontrarse en el comercio en unidades ya montadas y preparadas al efecto.

Aunque estos esquemas son muy simples, no debe creerse que la realización de un filtro divisor sea algo sumamente fácil, pues a poco que se profundice sobre este punto podrá darse cuenta de la presencia de algunas dificultades a resolver.

Al querer calcular una red divisora, el primer dato a fijar es la frecuencia de cruce y en función de ésta obtener los valores de la inductancia y la capacidad que lo constituyen; pero al hacer su cálculo encontramos que salen valores raros, difíciles de encontrar en el comercio. Naturalmente, si estos valores no se respetan la frecuencia de cruce varía y el filtro no actúa como se había previsto.

Para los condensadores, además de obtener valores diferentes a los fabricados, se presenta el escollo de que son de valores bastante grandes; y como sea que las tensiones en juego a través del filtro son alternas, no pueden emplearse condensadores electrolíticos, con lo que resultan unidades capacitivas de coste muy elevado.

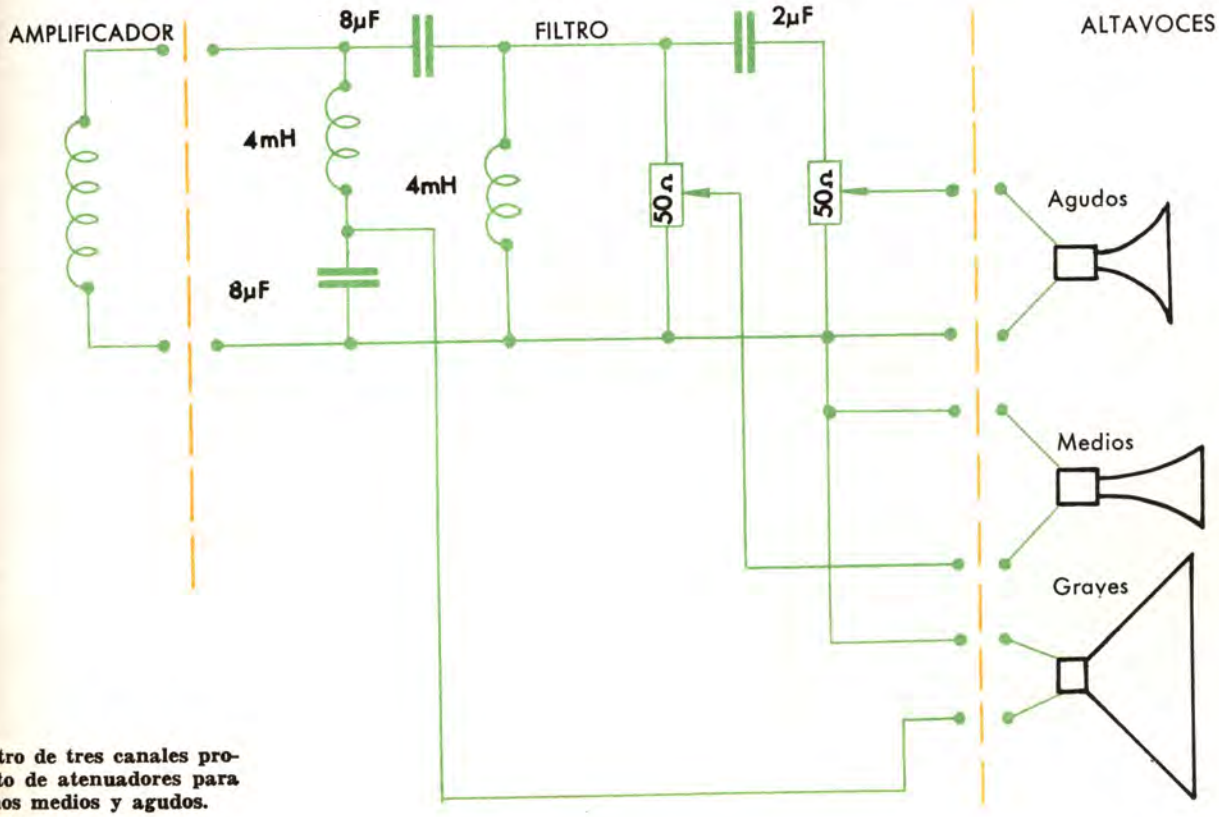
Además la potencia que atraviesa el filtro es bastante grande, mientras que las tensiones son pequeñas, por lo que las intensidades a través del filtro son considerables. Esto obliga a emplear para las inductancias un hilo bastante grueso; y como deben tener un número considerable de vueltas, resulta otra dificultad más a añadir a las ya mencionadas.

El fabricante de los altavoces da las características del filtro más adecuado, y en la mayoría de los casos es el mismo fabricante del altavoz quien construye también los filtros adaptados a sus unidades; en este caso no hay dificultades.

Finalmente, en la figura inferior tenemos el esquema del divisor para un sistema de tres altavoces, con los valores correspondientes de cada elemento para unas frecuencias de cruce normales en estas unidades.

Con estas redes divisoras dejamos ya sin ningún problema la correcta reproducción de todas las audiofrecuencias.

Naturalmente, las redes divisoras son innecesarias en las unidades coaxiales de bobina única. Para las unidades coaxiales con más de una bobina se utiliza una red divisora idéntica a la que se emplearía si los dos altavoces estuvieran separados.



Filtro de tres canales provisto de atenuadores para tonos medios y agudos.

GABINETES ACUSTICOS

Hemos visto hasta ahora cuál era la forma correcta de utilizar los altavoces con el fin de reproducir toda la banda sonora; pero sabido es por todos que estos altavoces nunca se utilizan solos, tal como los obtenemos del comercio, sino que en el sistema están confinados en un recinto o gabinete acústico, pues de otra forma su rendimiento acústico es muy pobre, sobre todo en el extremo inferior de la gama de audio.

La razón de ese pobre rendimiento se comprende fácilmente si se tiene en cuenta que un altavoz radía energía sonora no sólo por la parte anterior del cono, *sino también por la posterior.*

Este hecho, en lugar de mejorar los resultados y aumentar el volumen sonoro, como en principio puede parecer natural, es contraproducente pues las dos ondas acústicas generadas están en oposición de fase y sus efectos se anulan parcialmente.

Supongamos, en efecto, que en un instante dado el cono se desplaza hacia adelante, provocando una sobrepresión en el aire situado en la parte anterior. Al mismo tiempo el aire en contacto con la parte posterior del cono sufre un enrarecimiento o depresión. Es fácil comprender que, por ejemplo, el frente de presión originado en la cara anterior, que avanza en todas las direcciones con la velocidad de sonido, rodeando el contorno del altavoz, alcanza la cara posterior y anula en parte la depresión que allí tiene lugar.

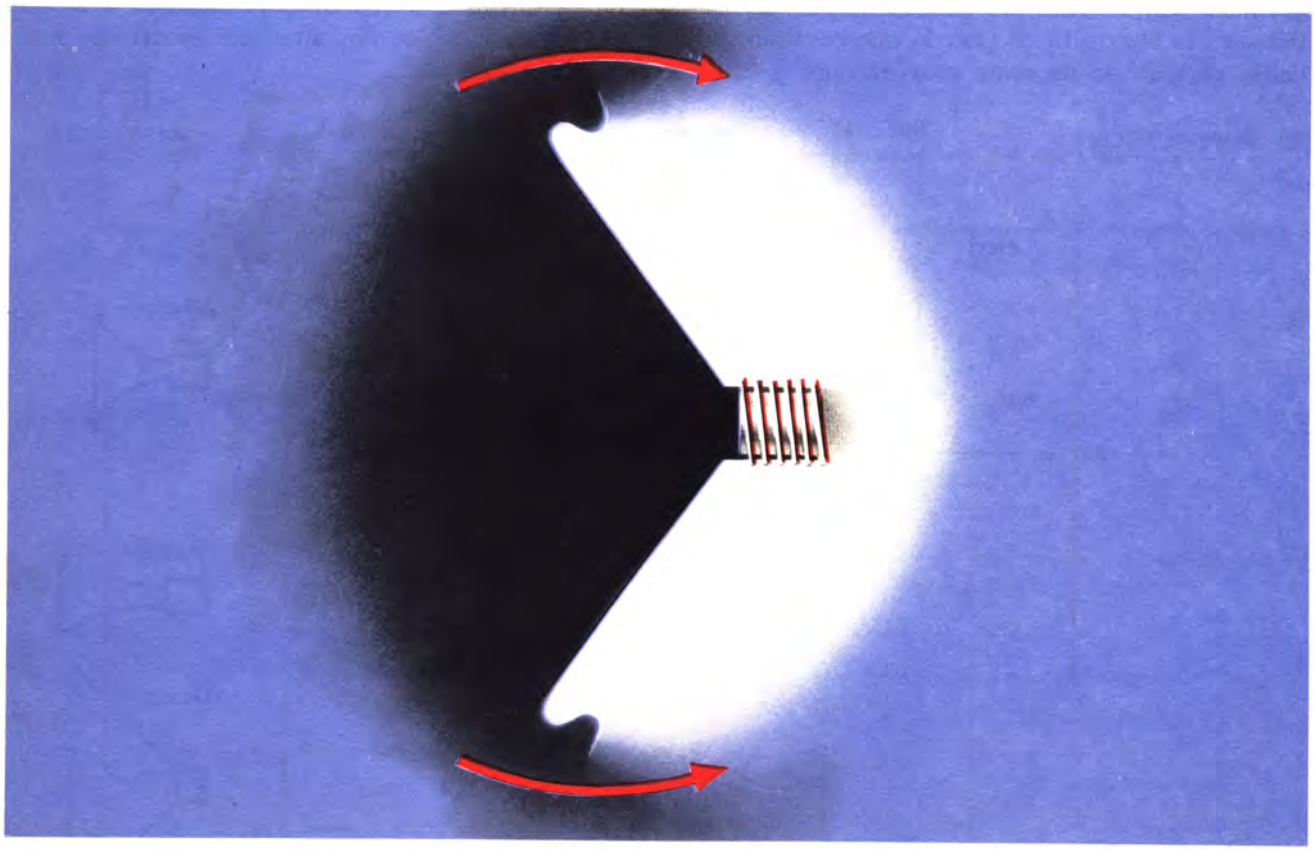
En resumidas cuentas, queda claro que en un altavoz desnudo tienden a cancelarse materialmente los efectos producidos por cada una de las caras del cono.

Para evitarlo debe proveerse al altavoz de un dispositivo de pantalla acústica; es decir, algo que impida la acción de una sobre otra de las dos ondas sonoras generadas por el altavoz.

El efecto de pantalla acústica es la función primordial, aunque no la única, que deben cumplir los gabinetes acústicos.

Ese efecto suele ser conocido también con el nombre inglés de *baffle.*

Un *baffle* es, pues, un dispositivo que impide la interacción perjudicial entre las ondas generadas en las caras anterior y posterior del altavoz.



Al desplazarse el cono de delante la sobrepresión producida por la cara anterior contornea el altavoz y anula la depresión originada en la cara posterior.

Baffle perfecto

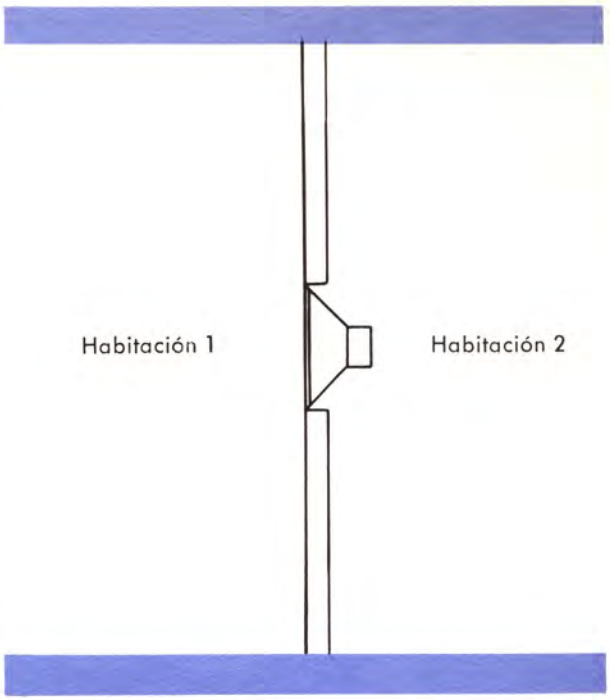
Hemos dicho que el inconveniente de no emplear *baffle* era la cancelación o neutralización de las ondas de presión generadas delante y detrás del cono del altavoz.

La solución que antes se nos ocurre es la de evitar este encuentro entre las dos ondas sonoras. Una forma ideal de conseguirlo sería disponer el altavoz en un tabique que separase dos habitaciones; de esta forma una de ellas recibiría las ondas sonoras procedentes de la parte anterior del cono y la otra las de la parte posterior.

Este sería, pues, el *baffle* ideal y perfecto en cuanto a reproducción y ausencia de interacción entre las dos ondas sonoras que genera el altavoz.

Naturalmente, este sistema de *baffle* perfecto presenta inconvenientes, si no técnicos sí de orden práctico, como son la necesidad de disponer de dos habitaciones —y además de dimensiones parecidas—, el que en ambas se oiga el sonido, etcétera.

Cuando se habla de la curva de respuesta de un altavoz, si no se especifica lo contrario, entenderemos que es la que corresponde al altavoz montado en un *baffle* perfecto.



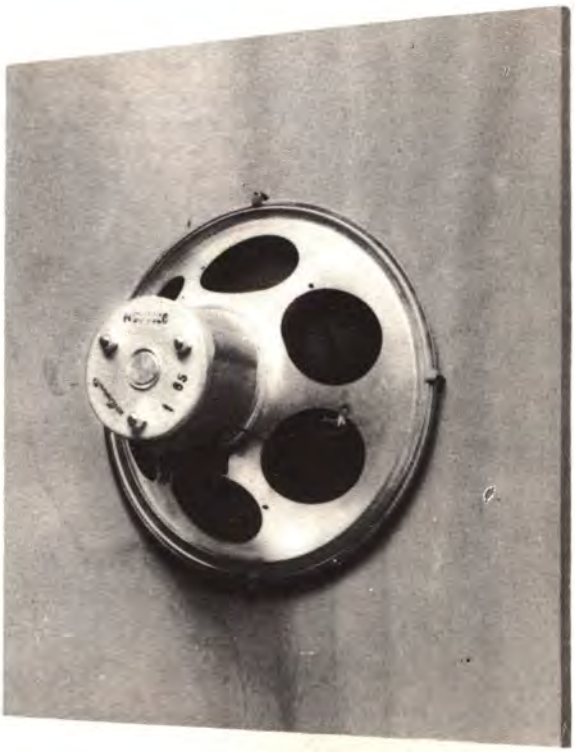
Baffle plano

Es una placa plana provista de un orificio circular en el que se coloca el altavoz.

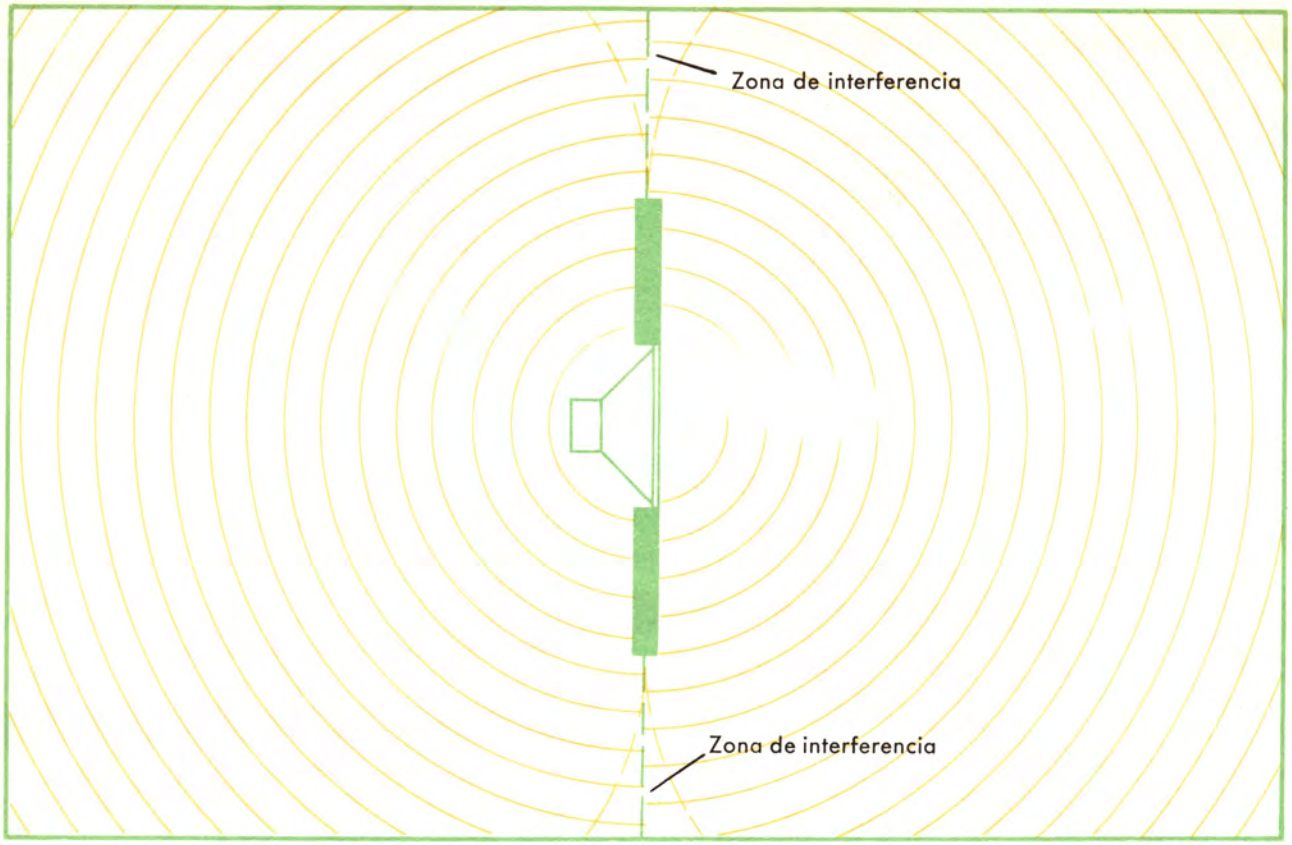
Este dispositivo provee una eficaz separación entre las dos ondas generadas por el altavoz, siempre y cuando la longitud de esas ondas sea mucho menor que las dimensiones del *baffle*.

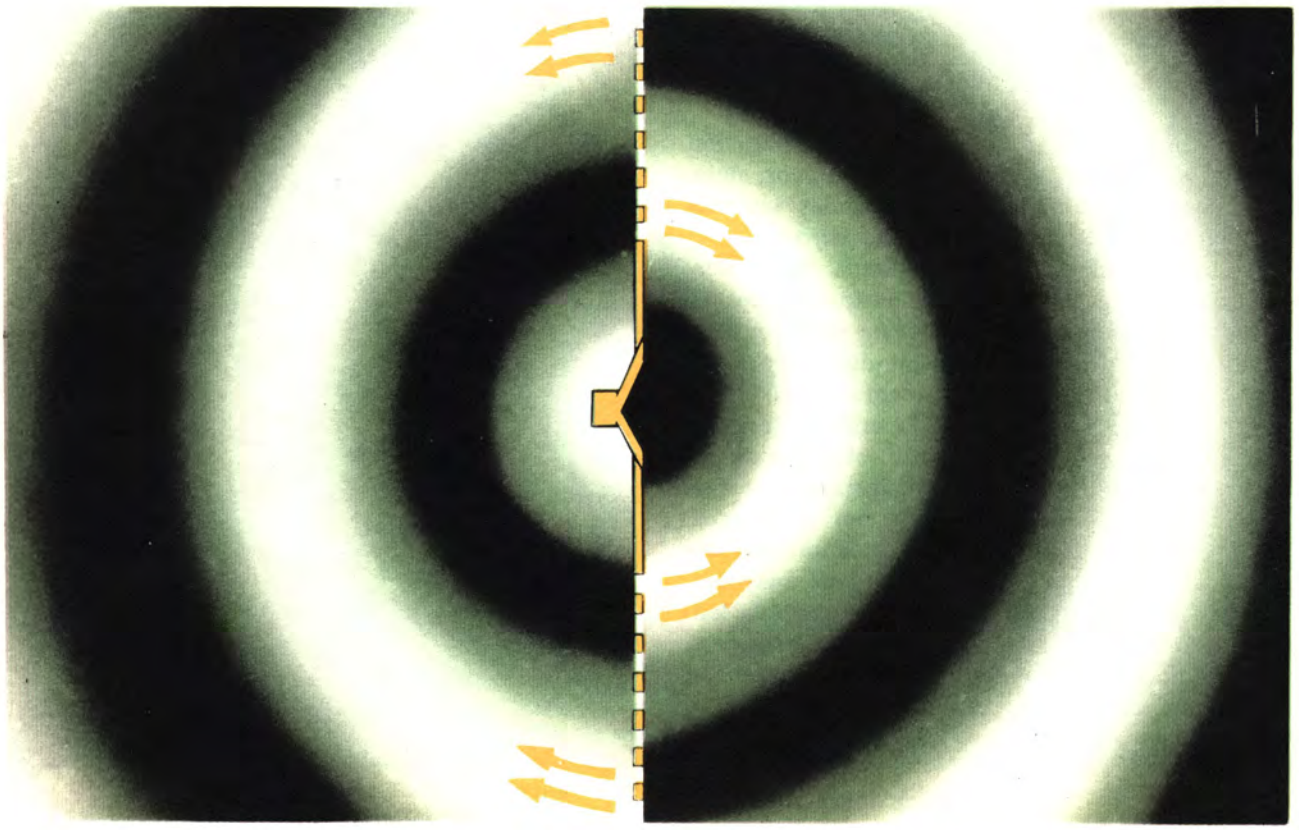
En uno de los gráficos inmediatos queda ilustrado cómo en esas circunstancias los oyentes situados a uno y otro lado del *baffle* perciben únicamente la onda sonora correspondiente; y cómo existen sólo dos zonas relativamente estrechas en las que hay interacción entre la onda anterior y posterior y en las que, por tanto, el volumen sonoro queda muy disminuido. Si disminuye la frecuencia de los sonidos radiados por el altavoz, con lo que la longitud de onda aumenta, esas zonas de interacción se hacen cada vez mayores. En una segunda figura hemos supuesto que la longitud de onda es igual al tamaño del *baffle;* pero por el momento hemos supuesto éste prolongado por la línea de puntos para poner de manifiesto las diferencias de presión que existirían a cada lado.

Claro es que, dadas las dimensiones reales del *baffle*, nada impide que las sobrepresiones de uno



Baffle plano.


Zona de interferencia
Zona de interferencia



y otro lado avancen sobre las depresiones del lado opuesto, tendiendo a un equilibrio con la consiguiente anulación del sonido en una zona bastante extensa.

Se comprende que a frecuencias más bajas el fenómeno es más acentuado; y en particular, cuando la longitud de onda es del orden del doble del tamaño del *baffle* a puntos situados a uno y a otro lado de éste llegan casi con igual intensidad las dos ondas sonoras. Es decir, las zonas de interacción se han extendido a casi todo el recinto.

Para esa frecuencia la placa plana ha dejado realmente de ser un *baffle* —es decir, una pantalla acústica—; y aunque la expresión no tenga un significado tan preciso como en el caso de un circuito eléctrico, suele decirse que ésa es la frecuencia de corte del *baffle* plano.

Bien: supongamos que con un *baffle* plano queremos reproducir como mínimo frecuencias de 50 c/s. ¿Qué dimensiones deberá tener el *baffle?*

Tomando como velocidad del sonido la de 340 m/s, la longitud de onda correspondiente a una frecuencia de 50 c/s es:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{50}$$

Y si el *baffle* ha de tener como frecuencia de corte la de 50 c/s sus dimensiones han de ser:

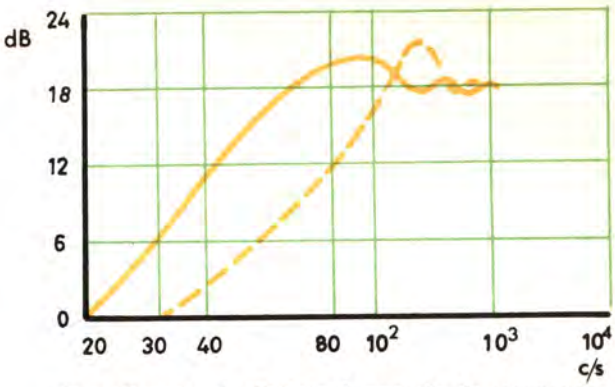
$$l = \frac{1}{2}\lambda = \frac{1}{2}\,\frac{340}{50} = 3{,}4 \text{ m}$$

Será, pues, un cuadrado de 3'4 × 3'4 m. Como se ve, para conseguir un resultado no decididamente inmejorable como es extender la reproducción de la gama sonora hasta los 50 c/s se requieren unas dimensiones muy poco cómodas por lo excesivamente grandes.

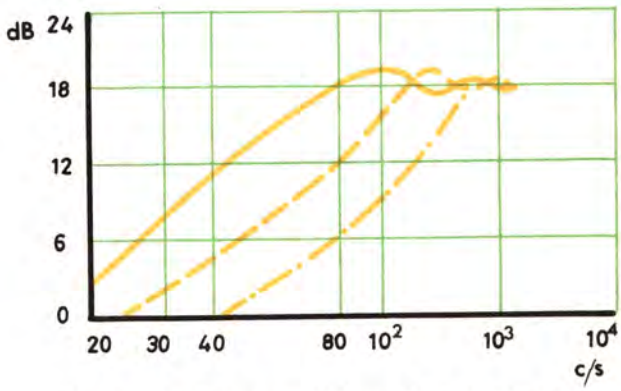
Naturalmente, no debemos olvidar que los resultados obtenidos no sólo dependen del *baffle*, sino también del altavoz empleado, y que ningún sentido tiene por tanto emplear un *baffle* de las dimensiones indicadas con un altavoz cuya frecuencia de resonancia sea, por ejemplo, de 100 c/s. El conjunto no sería eficaz, a causa del altavoz empleado, más que desde los 100 c/s; pero el mismo resultado puede conseguirse con un *baffle* más pequeño.

Los tres gráficos anexos, tomados de la obra *High Fidelity Techniques*, ponen de manifiesto la influencia que los dos factores, frecuencia de corte del *baffle* y resonancia del altavoz, tienen en la reproducción.

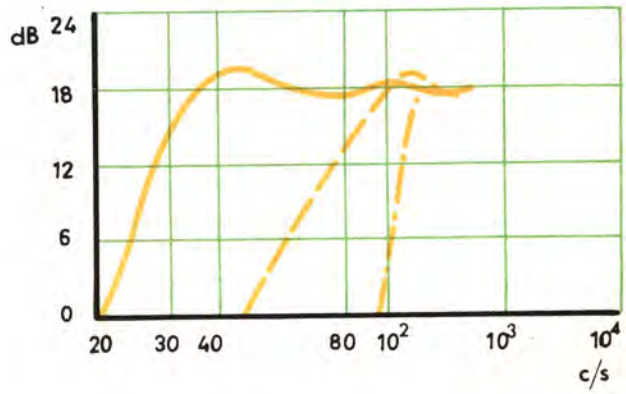
Los gráficos indican la conveniencia de utili-



Dos altavoces de distinta frecuencia de resonancia, pero montados en baffles de dimensiones suficientemente grandes para que la frecuencia de corte sea mucho más baja que la de resonancia de los altavoces, muestran prácticamente las mismas características que si estuviesen montados en baffles perfectos.



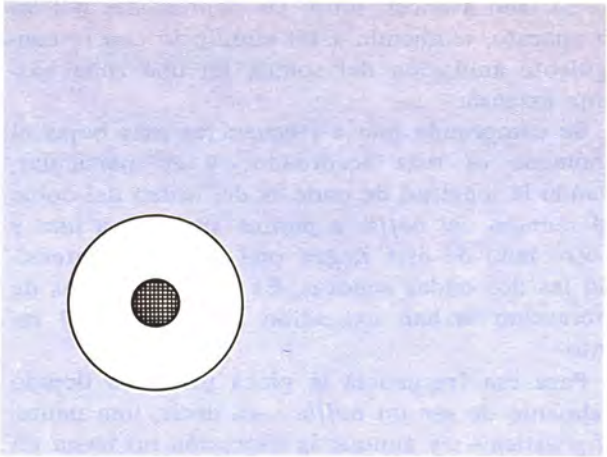
Un mismo altavoz montado en tres baffles de distinto tamaño; pero siempre con frecuencias de corte muy por encima de la frecuencia de resonancia del altavoz. Se aprecia cómo al disminuir el tamaño disminuye también el margen de frecuencias reproducidas.



Tres altavoces con distinta frecuencia de resonancia montados en tres baffles de distinto tamaño a fin de que en los tres casos coincida la frecuencia de resonancia de los primeros con la frecuencia de corte de los segundos. Es el caso más recomendable en cuanto a resultado y precio.

zar conjuntos en que la frecuencia de resonancia del altavoz y la de corte del *baffle* coincidan (o sean muy próximas), pues de lo contrario o no se aprovechan del todo las cualidades, del altavoz o se desperdicia madera en el *baffle*.

Es de advertir que no resulta conveniente situar el altavoz en el centro del *baffle*, sino más o menos próximo a un ángulo, ya que de esta forma resulta menos brusca la transición entre el margen de frecuencias para las que la placa actúa como *baffle* y aquellas para las que resulta ineficaz.

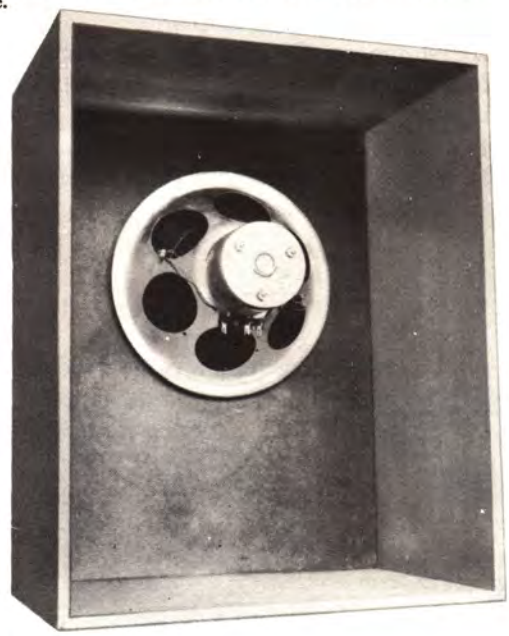


Es recomendable no situar al altavoz centrado en el baffle.

Caja de fondo abierto

Es un *baffle* derivado del anterior en un intento de reducir sus dimensiones.

Esa reducción se consigue acodando la tabla que constituía el *baffle* plano, con lo que éste queda convertido en una caja de fondo abierto.



Caja de fondo abierto.

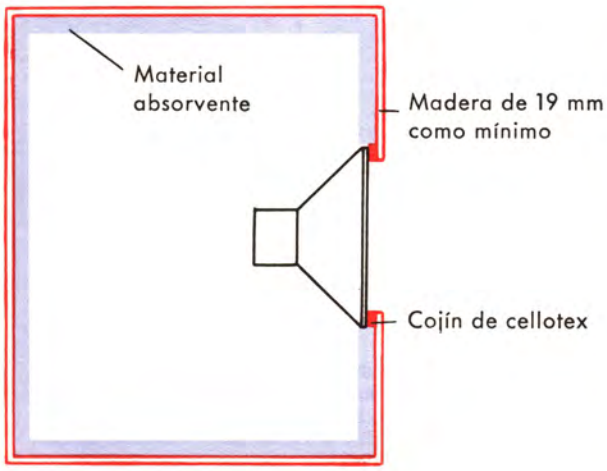
Caja de fondo cerrado

Es un intento de construir un *baffle* perfecto sin los inconvenientes de orden práctico que presenta la solución de las dos habitaciones.

Aquí una de las habitaciones ha quedado sustituida por una caja cerrada que contiene el altavoz.

Desde luego, como *baffle* debe considerarse perfecto, pues consigue una total separación entre las dos ondas generadas por el altavoz. Por desgracia ello se logra a costa de modificar de forma poco conveniente las condiciones de trabajo del altavoz.

La razón es que si a efectos prácticos elegimos una caja pequeña para contener el altavoz, la masa de aire que contiene está sometida a so-



Diámetro altavoz	Volumen mínimo interior	Diámetro abertura altavoz
8"	132 dm^3	16'2 cm
10"	180 dm^3	21'2 cm
12"	250 dm^3	26'2 cm
15"	387 dm^3	34'3 cm

Caja de fondo cerrado y tabla de volúmenes recomendables.

brepresiones y depresiones mucho mayores que las del aire de la habitación. Aparentemente es como si las suspensiones elásticas del altavoz se hubiesen hecho más enérgicas, lo que tiene por consecuencia elevar la frecuencia de resonancia del altavoz y reducir por tanto la respuesta en el extremo de graves. Esto en el caso menos malo, pues al reducir el tamaño, debido al desequilibrio de condiciones en una y otra cara, el cono se puede deformar durante su desplazamiento con la consiguiente distorsión.

En este tipo de gabinetes es de esencial importancia recubrir la parte interior con material absorbente del sonido para evitar las indeseables reflexiones de las ondas, en especial de las correspondientes a las altas frecuencias, motivo por el que este recubrimiento será mucho más importante en los recintos en los que se emplee un altavoz único que en aquellos en los que exista una trompeta de agudos, puesto que en este caso las ondas de alta frecuencia no estarán presentes en el recinto del *baffle*.

El volumen de aire encerrado en el gabinete es, como hemos dicho, el factor esencial en el diseño de estos *baffles;* su valor depende del tamaño del altavoz que se emplee. En la tabla se dan los volúmenes mínimos para cada diámetro de cono, así como el diámetro del orificio que debe practicarse en la abertura para el altavoz. Naturalmente, estas magnitudes son los valores límites del volumen interior de *baffle* para que no sufran atenuación las frecuencias graves; de hacer mayor el volumen, tanto mejor, aunque la mejora obtenida es muy pequeña.

Si se respetan las indicaciones de la tabla el aumento de la frecuencia de resonancia es poco notable. Por supuesto, es recomendable elegir para este tipo de gabinete acústico un altavoz con una frecuencia de resonancia lo más baja posible.

La elasticidad del aire contenido en la caja de fondo cerrado aumenta la frecuencia de resonancia del altavoz.

Caja de reflexión de graves (bass-reflex)

Estructuralmente difiere de la caja de fondo cerrado en que su parte anterior tiene practicada, además del orificio para el altavoz, una ventana rectangular.

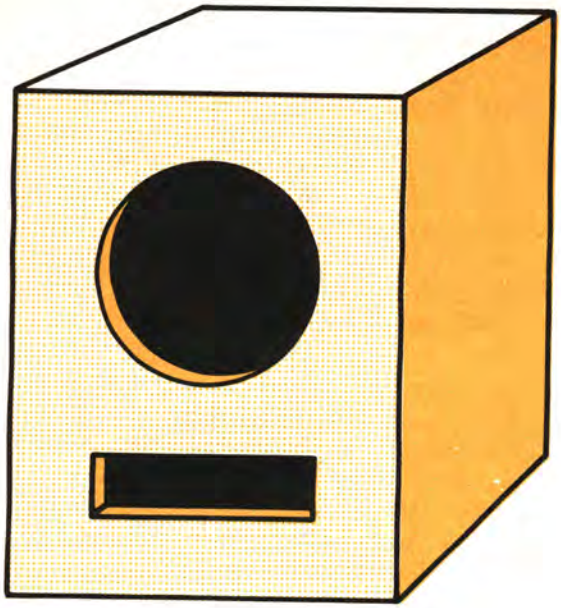
Este tipo de gabinete acústico logra, si está bien calculado, reducir el pico de resonancia del altavoz y extender el margen de reproducción para los tonos graves más allá de lo que se conseguiría con una caja de fondo cerrado de las mismas dimensiones.

La comprobación puede hacerse estudiando la curva de respuesta del conjunto, primero en condiciones normales y luego con la ventana obturada, con lo que el gabinte queda convertido en una caja de fondo cerrado.

Los resultados pueden verse en el gráfico. Con la ventana cerrada aparece claramente el pico de resonancia del altavoz. En cambio, con la ventana abierta aparecen dos picos de menor amplitud situados simétricamente respecto del anterior, y la curva de respuesta ha quedado extendida hacia el extremo inferior de la gama de audio.

Dar una explicación clara y detallada de los fenómenos que tienen lugar en una caja de reflexión de graves —o, como frecuentemente se le denomina, utilizando la expresión inglesa, en un *bass-reflex*—, requiere hacer uso de conocimientos de electroacústica que salen fuera de nivel que en esta obra nos hemos marcado. Básicamente, sin embargo, conviene saber que la masa de aire contenida por la caja, y que la parte posterior del cono pone en vibración, puede entrar en resonancia mecánica a una frecuencia que depende del volumen de la caja y del área de la ventana.

En las proximidades de la frecuencia de resonancia del gabinete la onda sonora provocada por la parte posterior del cono sufre en la caja una



Caja de reflexión de graves.

inversión de fase, de manera que emerge por la ventana en concordancia de fase con la onda generada por la cara anterior y ambas por consiguiente se refuerzan.

Por otra parte, a su frecuencia de resonancia la carga que el aire contenido en el gabinete ofrece al altavoz es mayor que a las demás frecuencias, por lo que a esa frecuencia las oscilaciones del cono tienen, para una misma tensión de entrada, una amplitud menor que para otra cualquiera.

Pues bien, si las frecuencias de resonancia del altavoz y el *bass-reflex* coinciden el pico de resonancia del primero queda enérgicamente amortiguado por la mayor carga ofrecida por el segundo y el margen de frecuencias reproducibles se extiende debido al refuerzo originado por la radiación a través de la ventana.

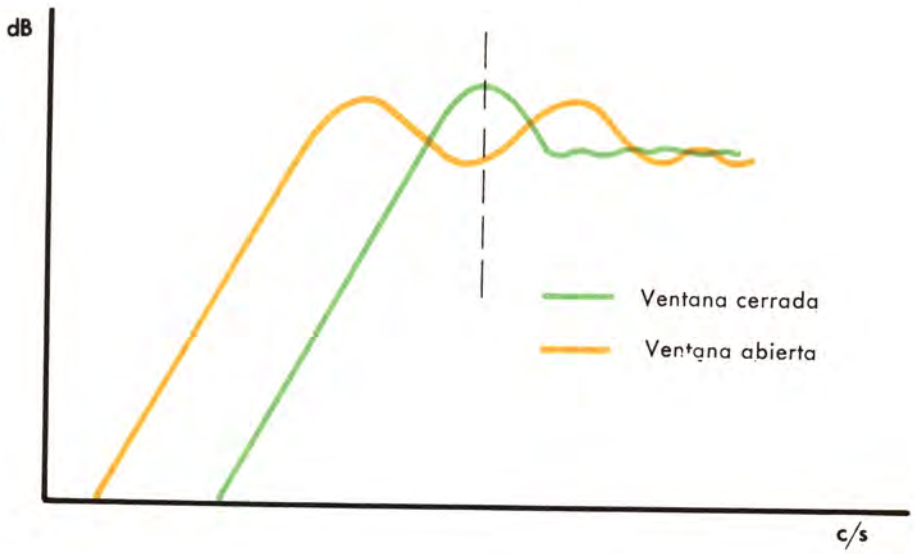
Para frecuencias superiores a la de resonancia los fenómenos estudiados no tienen lugar; pero la caja se comporta para ellos como un buen *baffle* si se ha tenido la precaución de no practicar la ventana demasiado próxima al altavoz.

En la tabla se indican las dimensiones recomendables para la construcción de un *bass-reflex* en función del tamaño del altavoz.

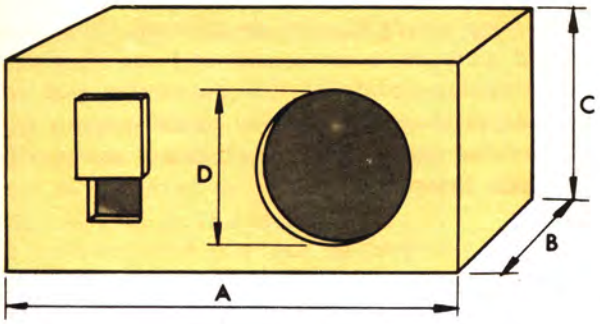
Naturalmente, como la frecuencia de resonancia de un altavoz no depende únicamente de su tamaño, no hay ninguna seguridad de que coincidan, por ejemplo, la frecuencia de resonancia de un altavoz de ocho pulgadas y la del gabinete construido con los datos que indica la tabla. Por ello una vez montado el conjunto es preciso realizar algunas operaciones para conseguir esa coincidencia.

Existen dos posibilidades: variar la frecuencia de resonancia del altavoz o variar la del *bass-reflex*. La primera debe desecharse, pues el altavoz es un instrumento demasiado delicado para someterlo a modificaciones. Debemos, pues, operar sobre la caja para sintonizar su frecuencia de resonancia con la del altavoz.

Como ya hemos indicado, la frecuencia de resonancia del *bass-reflex* depende de su volumen y del área de la ventana. Más concretamente, aumenta al disminuir el volumen y disminuye al disminuir la mencionada área.



He aquí el efecto que sobre el funcionamiento del altavoz tiene la ventana del bass-reflex. Queda amortiguado el pico de resonancia y extendido el margen de reproducción.



Claro es que una vez construida no podemos pensar en variar el volumen de la caja; en cambio es fácil variar el área de la ventana.

Los datos que da la tabla acerca del área de la ventana son tales que normalmente la frecuencia de resonancia del altavoz es inferior a la del gabinete. Basta entonces obturar parcialmente la ventana con una madera hasta conseguir rebajar la frecuencia de resonancia del gabinete al valor de la del altavoz.

Diámetro altavoz en pulgadas	A en cm	B en cm	C en cm	D en cm	Area de la ventana en cm²
8	60	28	46	18	250
10	74	33	58	21'5	470
12	82	38	68	28	620
15	104	46	82	36	1000

Procedimiento para sintonizar un "bass-reflex"

Una forma práctica de proceder para sintonizar un *bass-reflex* con su altavoz es la siguiente: se conecta al altavoz, dispuesto en el gabinete, el amplificador que haya de accionarle y se intercala entre ambos una resistencia de unos 100 Ω. Tal como indica la figura, se conecta además a la entrada del amplificador un generador de B.F. y entre los terminales de la bobina móvil un voltímetro para alterna, que se habrá que procurar sea bastante sensible (uno o dos voltios a fondo de escala).

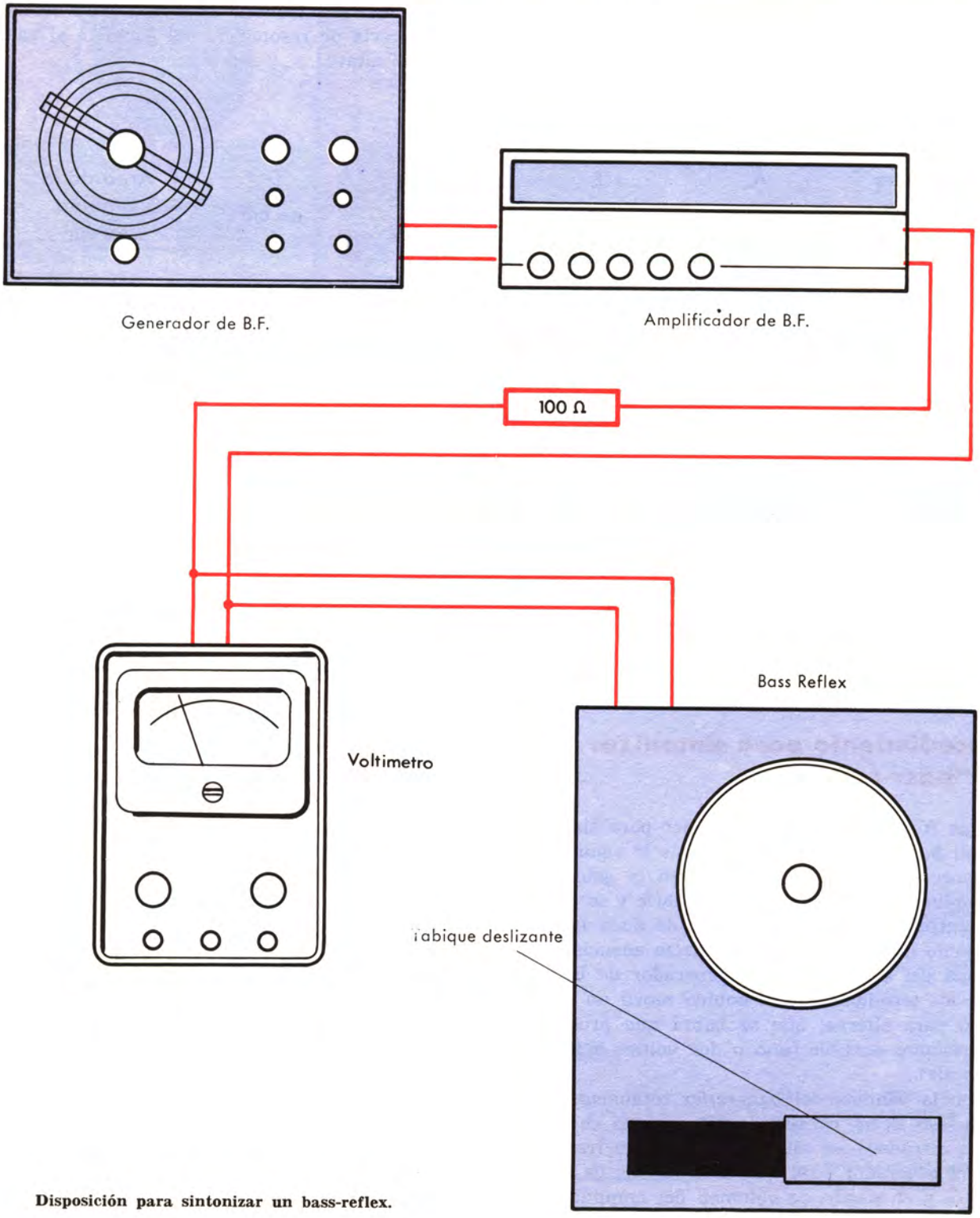
Con la ventana del *bass-reflex* totalmente cerrada —es decir, convertido éste en una caja de fondo cerrado—, se ajusta el mando de frecuencia del generador para que la señal sea de unos 100 c/s y el mando de volumen del amplificador para que el voltímetro marque aproximadamente un tercio de escala.

Se va luego disminuyendo la frecuencia, con lo que la aguja se desvía cada vez más hasta alcanzar un máximo que corresponde a la frecuencia de resonancia del altavoz.

Dejando en esa marcación el mando de frecuencia del generador, se abre paulatinamente la ventana del *bass-reflex*, con lo que la aguja del voltímetro empieza a descender hasta alcanzar un mínimo. La abertura que corresponda a ese mínimo es la que sintoniza el gabinete con el altavoz. El área de ventana sobrante se obtura definitivamente con una madera bien ajustada y encolada.

Si después de sintonizado el *bass-reflex* se varía la frecuencia del generador a uno y otro lado se encuentran dos máximos de menor amplitud que el máximo que se aprecia con la ventana cerrada.

De todos los gabinetes acústicos —los descritos y los que hemos de describir— el *bass-reflex* es probablemente el que mejor conjuga los factores calidad-precio-tamaño; pero conviene tener presente que a menos que el conjunto de altavoz y caja ya montado se haya adquirido en el comercio, y de un fabricante de garantía, debe procederse siempre a su ajuste con las operaciones que quedan indicadas. Un *bass-reflex* mal sintonizado produce unos graves retumbantes y confusos en los que no aparece el timbre característico de cada instrumento.



Disposición para sintonizar un bass-reflex.

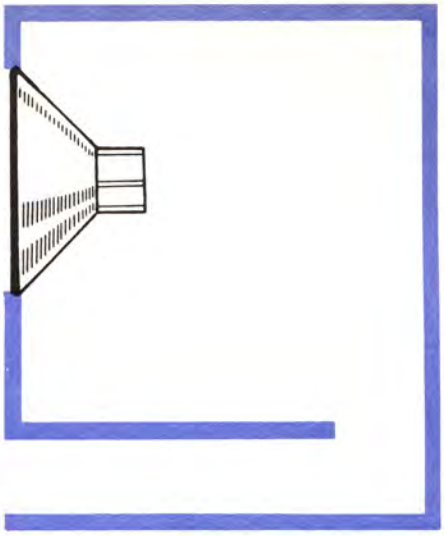
"Bass-reflex" de tamaño reducido

Es de advertir que es posible construir este tipo de caja acústica con dimensiones menores que las recomendadas en la tabla, pues la disminución de volumen se puede compensar disminuyendo el área de la ventana.

El inconveniente con que se tropieza en este intento es que la reducción de tamaño obliga a reducir la distancia entre el altavoz y la ventana, con lo que se reduce el efecto del *baffle* para las frecuencias superiores a la de resonancia.

Una reducción en el tamaño de un *bass-reflex* se traduce, pues, en una pérdida de rendimiento para los tonos medios. Para los tonos graves el rendimiento puede seguir siendo bueno a condición de estar bien sintonizado.

Una forma de aumentar la distancia entre altavoz y ventana es adicionar a ésta un conducto de forma que la abertura quede próxima al fondo de la caja.



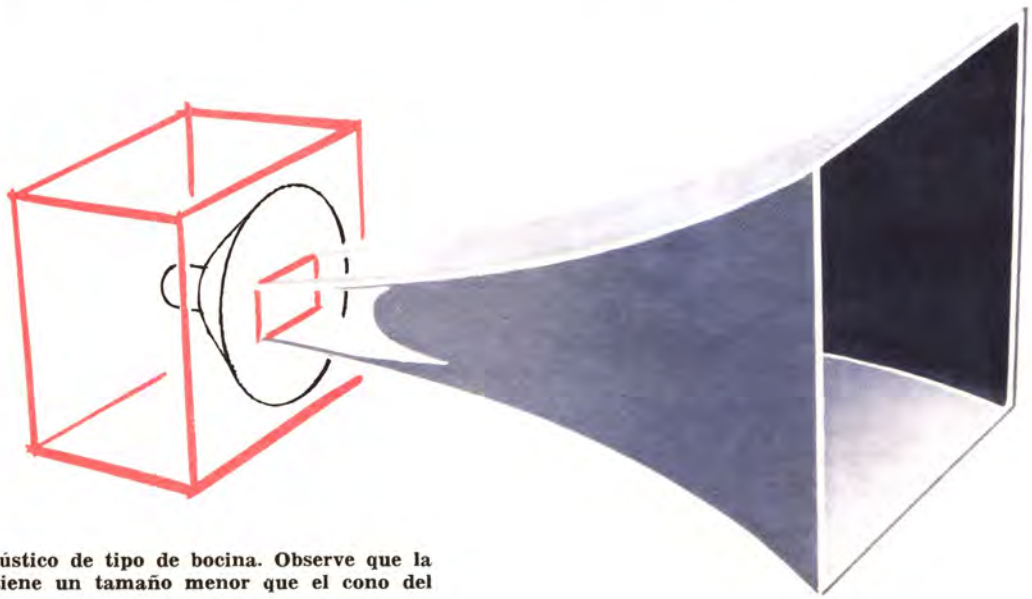
Añadiendo a la ventana un conducto es posible reducir el tamaño de un bass-reflex sin perder el rendimiento en los tonos medios.

BOCINAS

Los tipos de *baffle* o de gabinete hasta aquí descritos tienen en común el que el sonido se radía a la habitación que se pretende sonorizar directamente por el cono del altavoz. Reciben por ello el nombre de gabinetes de radiación directa. Existe un tipo de gabinete en que el sonido no se radía directamente por el cono, sino a través de un tubo en forma de bocina o trompeta; es decir, a través de un tubo de sección variable en cuya parte más estrecha, llamada *garganta*, se sitúa el altavoz y por cuya parte más ancha, llamada boca, se radía el sonido.

El altavoz está confinado en una caja de fondo cerrado que actúa de *baffle* y en la que la abertura de la parte anterior se ajusta perfectamente a la garganta de la bocina.

La ventaja fundamental de la bocina sobre los radiadores directos estriba en que la primera proporciona un rendimiento mucho mayor a causa de la mejor adaptación acústica que proporciona.



Recinto acústico de tipo de bocina. Observe que la garganta tiene un tamaño menor que el cono del altavoz.

Ello quiere decir que se obtiene el mismo volumen sonoro aplicando al altavoz señales menos potentes si éste radía a través de una bocina que si lo hace directamente.

Como consecuencia, al utilizar una bocina el amplificador puede trabajar con señales más débiles y el altavoz efectúa desplazamientos menos amplios, circunstancias que contribuyen a reducir la distorsión.

Otra notable ventaja de las bocinas es que proporcionan un eficaz amortiguamiento al altavoz no sólo en la frecuencia de resonancia, como en el caso del *bass-reflex*, sino en toda la gama de funcionamiento.

Límites de respuesta de una bocina

El tamaño de la boca tiene una influencia definitiva en el límite inferior de las frecuencias que puede reproducir la bocina. Cuando la longitud de onda del sonido a reproducir es grande en comparación con la boca, los frentes de presión tienen tendencia a retroceder a partir de ella hacia la garganta, con lo que se reduce el rendimiento. En cambio, cuando la longitud de onda es pequeña los sucesivos frentes de onda que avanzan por la bocina impiden a la onda de retroceso alcanzar la garganta y por consiguiente alterar las condiciones allí creadas por la vibración del cono.

Como condición de diseño debe imponerse que las dimensiones de la boca de la bocina estén comprendidas entre un cuarto y una mitad de la longitud de onda más larga del sonido a reproducir.

Si suponemos, por ejemplo, que la bocina es de sección cuadrada y que la frecuencia más baja a reproducir es 50 c/s, la longitud de onda correspondiente es:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340 \text{ m/s}}{50 \text{ c/s}}$$

y admitiendo que la diagonal del cuadrado sea un tercio de la longitud de onda, tendremos:

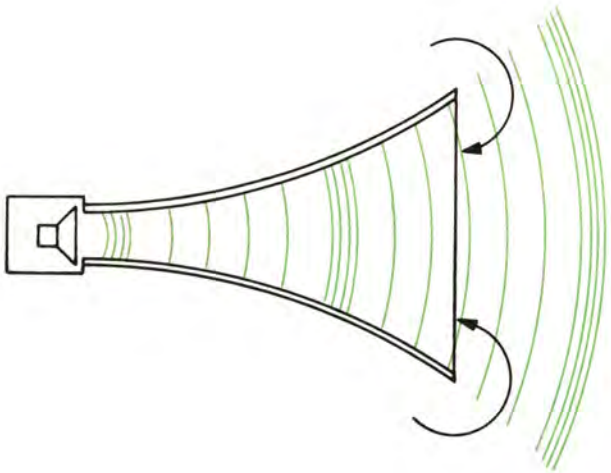
$$1 = \frac{1}{3} \times \lambda = \frac{1}{3} \times \frac{340}{50} = 2{,}28 \text{ m.}$$

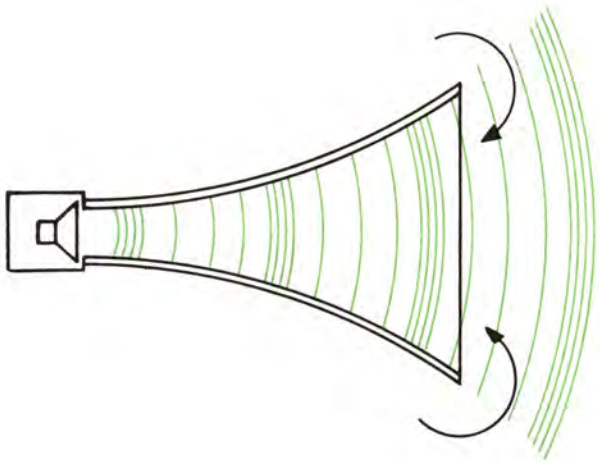
Es decir, la boca de la bocina será un cuadrado de 2,28 m de diagonal, a lo que corresponde aproximadamente 1'6 m de lado.

Este solo dato hace suponer que las bocinas no son precisamente miniaturas.

Por otra parte, el límite superior de la gama de frecuencias reproducidas está limitado, entre otras cosas, por el tamaño de la garganta de la bocina. Cuanto más grande es la garganta más bajo es el límite superior de las frecuencias que se puede reproducir.

De hecho una bocina deja de ser eficaz para





Para sonidos cuya longitud de onda es mayor que la boca de bocina los frentes de presión tienden a retroceder hacia la garganta reduciendo el rendimiento. El retroceso debe ser impedido por los sucesivos frentes de onda, que avanzan por el tubo cuando la longitud de onda es pequeña en comparación con la boca.

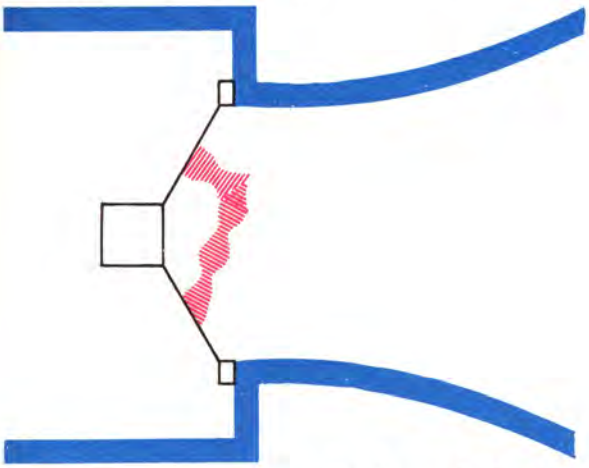
sonidos cuya longitud de onda sea del orden de las dimensiones de la garganta.

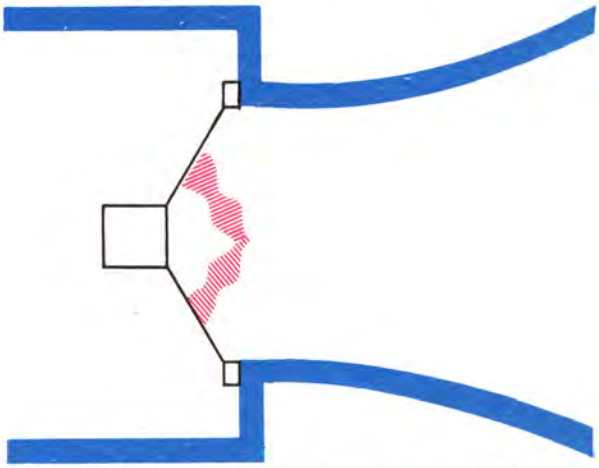
Ello se debe a las interferencias que tienen lugar entre ondas sonoras procedentes de zonas distintas del cono al llegar a la garganta.

En las figuras se muestra cómo los sonidos procedentes de dos zonas diametralmente opuestas del cono llegan a los puntos de la garganta próximos al eje de la bocina tras recorrer distancias iguales, y por tanto en concordancia de fase, con lo que se refuerzan mutuamente. En cambio, para puntos lejos del eje los caminos a recorrer son distintos; y si en particular la diferencia es de media longitud de onda, las ondas sonoras llegan a esos puntos en oposición de fase, con lo que se destruyen mutuamente.

Así, pues, para conseguir que todos los puntos de la garganta sean alcanzados por ondas sonoras en fase conviene que sea de pequeñas dimensiones. Como por otra parte esa condición es también deseable para que los desplazamientos del cono den origen a presiones elevadas en la garganta, pues ello beneficia el rendimiento de la bocina, se comprende el hecho, en principio desconcertante, de que los gabinetes acústicos con bocina utilicen gargantas que suelen ser bastante más pequeñas que el cono del altavoz. El área de la garganta suele ser un tercio o dos tercios del área del cono.

Para un altavoz de 12" de diámetro (30 cm) una garganta cuadrada de 15 cm de lado puede resultar adecuada.





En el caso de las figuras se supone que el altavoz radía sonidos cuya longitud de onda es inferior a las dimensiones de la garganta. A los puntos situados sobre el eje del altavoz o próximos a él las ondas sonoras procedentes de dos pequeñas zonas del cono diametralmente opuestas llegan en concordancia de fase y por tanto se refuerzan. En cambio, a puntos alejados del eje las ondas sonoras llegan en oposición de fase y anulan.

Perfil de la bocina

Una vez determinados el tamaño de la garganta y de la boca, queda por decidir el perfil que tendrá la bocina.

La figura de la página siguiente ilustra la influencia que tiene la forma del perfil en la atenuación de los tonos graves.

Un perfil recto, deseable desde el punto de vista de la simplicidad de construcción, es desaconsejable por la desfavorable curva de respuesta que con él se obtiene. El perfil hipérbolico proporciona bocinas con tendencia a la acentuación de los tonos próximos a la frecuencia de corte. En alta fidelidad se prefiere el perfil exponencial.

Las bocinas exponenciales se caracterizan en que, avanzando desde la garganta hacia la boca, el área de la sección se dobla cada vez que se recorre a lo largo del eje una determinada longitud que vamos a llamar L.

Aclaremos la cuestión con un ejemplo: si una bocina tiene una garganta de 1 cm^2 y avanzando a lo largo del eje una longitud L = 10 cm, encontramos que la sección es de 2 cm^2; avanzando 10 cm más hacia la boca encontraríamos una sección de $2 \times 2 = 4$ cm^2 y avanzando 10 cm más una sección de $2 \times 4 = 8$ cm^2, etc.

Pues bien, el intervalo de longitud L para el cual queda doblada el área en una bocina exponencial se puede hallar por medio de estas dos fórmulas:

$$L = \frac{0{,}7}{K} \qquad K = \frac{12{,}5 \text{ fc}}{v}$$

en que fc es la frecuencia más baja que la bocina ha de reproducir y v la velocidad del sonido en m/s.

Para una bocina capaz de reproducir 50 c/s tendremos:

$$K = \frac{12{,}5 \times 50}{340} = 2{,}1 \text{ y } L = \frac{0{,}7}{2{,}1} = 0{,}33 \text{ m}$$

Es decir, será una bocina el área de cuya sección se dobla a intervalos de 33 cm de longitud del eje. Si partimos de una garganta de 15 × 15 = = 225 cm², puesto que la boca ha de tener, según antes hemos calculado, un área de

$$160 \times 160 = 25.600 \text{ cm}^2,$$

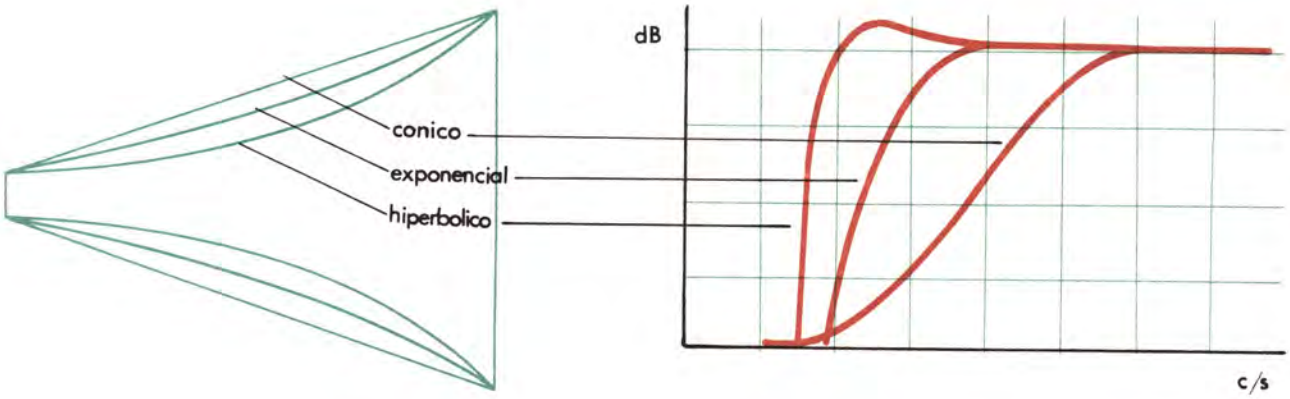
resulta que ésta última es unas 114 veces mayor que la primera.

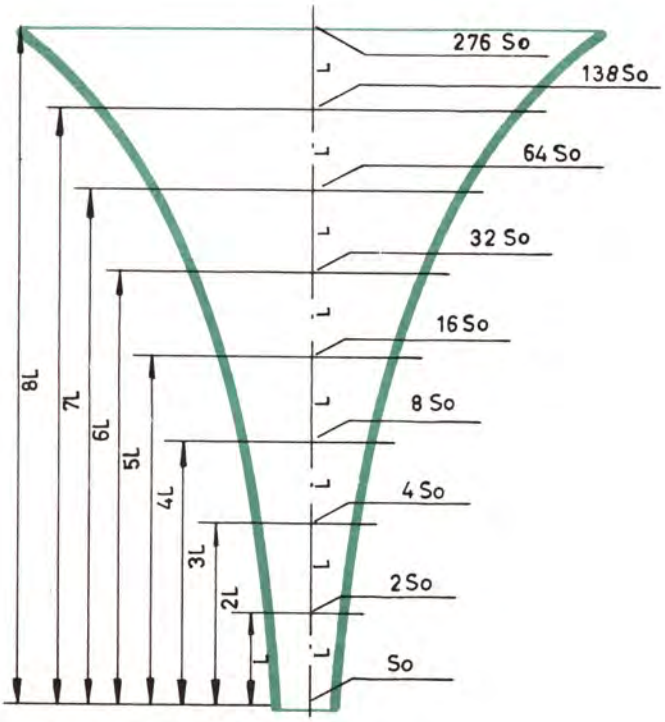
La figura adjunta indica que la longitud total de la bocina está comprendida entre seis y siete veces el valor de L.

Si elegimos la longitud total igual a 7 L, con lo que la boca será algo mayor que la calculada inicialmente, la bocina tendrá:

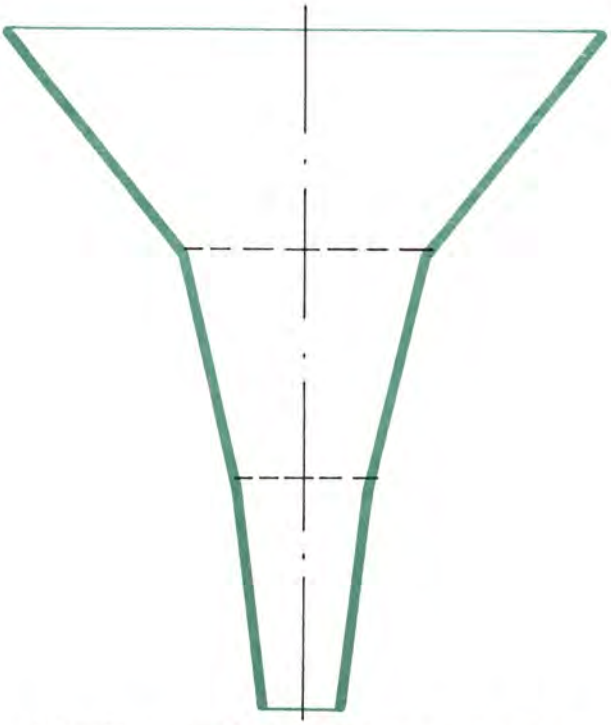
$$7 \times 0'33 = 2'31 \text{ m de longitud.}$$

Como se ve, resulta un artefacto de tamaño más que regular.





Abaco para el diseño de perfiles exponenciales.



El perfil exponencial de una bocina puede aproximarse con tramos rectos con lo que se facilita la construcción al poder utilizar tablas planas.

BOCINAS PLEGADAS

La dificultad que representa construir una bocina con perfil curvado puede eliminarse aproximando ese perfil con diversos tramos rectos sin que el dispositivo pierda sus cualidades, y es más, el excesivo volumen que ocupa una bocina convencional como la descrita puede reducirse plegando la bocina sobre sí misma o bien haciendo que el conducto siga un camino en zig-zag.

Las figuras muestran diversas disposiciones con que construir bocinas que tienen no solamente un tamaño no exageradamente grande, sino también una apariencia menos detonante que la bocina clásica.

Observe que las dos hacen uso de las paredes de la habitación como si fuesen caras de la bocina.

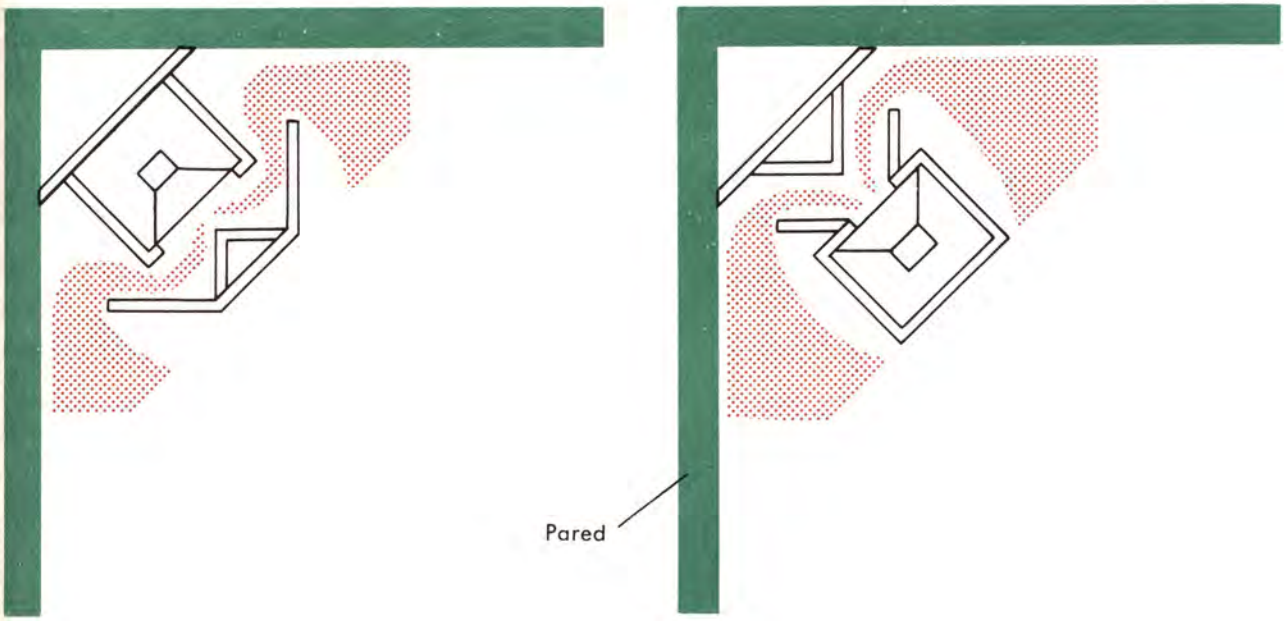
Margen de frecuencias cubierto por una bocina

De lo que llevamos dicho deducimos que el tamaño grande de las bocinas sólo es obligado en el caso de que esté destinada a la reproducción de graves. Si lo que se pretende es reproducir las frecuencias altas de la gama de audio, el tamaño necesario para la bocina no es origen de dificultades, como puede comprobar en las fotografías que acompañan a la descripción de los altavoces especiales para agudos del tipo de trompeta, que en realidad son bocinas cuyo funcionamiento es el aquí indicado; pero que hemos preferido describir allí debido a que normalmente el equipo motor (imán, diafragma y bobina móvil) y la bocina forman un conjunto inseparable.

En todo caso, lo que resulta prácticamente imposible es construir una bocina capaz de reproducir toda la gama de audio, pues la gran boca necesaria para la reproducción del extremo inferior de la gama y la muy pequeña garganta necesaria para la correcta reproducción de los tonos más altos haría que la longitud total fuese desmesurada. Por otra parte la construcción de un motor para semejante trompeta tropezaría también con dificultades insuperables debido a las cualidades contradictorias que habría de poseer.

En la práctica una bocina para graves tiene su frecuencia superior de corte hacia 400 c/s, de forma que el resto de la gama debe cubrirse con trompetas para medios y agudos o con altavoces de radiación directa de análogas características.

Desde luego, un conjunto reproductor constituido exclusivamente por unidades del tipo de bocina es probablemente la solución técnicamente mejor, y casi con seguridad es también la más cara.



Dos soluciones para reducir el tamaño de las bocinas. Observe que en ambos casos las paredes de la habitación juegan un papel importante.

OTROS TIPOS DE RECINTOS ACUSTICOS

Hemos dado como tipos básicos de recintos acústicos los *baffles* de radiación directa y las trompetas acústicas. Sin embargo, existe un gran número de unidades reproductoras acústicas que en rigor no se ajustan a ninguno de los tipos antes mencionados.

Tenemos en la figura *a*) uno de estos diseños. Está constituido por un *baffle* de radiación directa que aprovecha la onda posterior para excitar una trompeta acústica. La radiación anterior o directa favorece la reproducción de las altas frecuencias y la posterior, aprovechando las ventajas de rendimiento de las trompetas, favorece las bajas.

Otro *baffle* parecido es el representado en la figura *b*), preparado para colocar en el rincón de una habitación. Aprovecha también la radiación directa para las altas frecuencias y la del *baffle* exponencial que forman las paredes de la habitación con la parte exterior del recinto para las bajas frecuencias.

En la figura *c*) aparece un *baffle* también de rinconera muy adecuado para aquellas habitaciones donde un mueble del tamaño de un *baffle* normal es excesivamente grande. Este *baffle* puede ser de caja de resonancia infinita, o convertirse en un *bass-reflex* si se practica la ventanilla conveniente. Como puede observarse las medidas quedan reducidas a un mínimo, a la vez que proporciona resultados muy buenos.

La figura *d*) representa un *baffle bass-reflex* especial con doble ventana. La unidad es de reducidas dimensiones, a pesar de lo cual proporciona excelentes resultados. Las medidas que se dan son las adecuadas para un altavoz de 12 pulgadas.

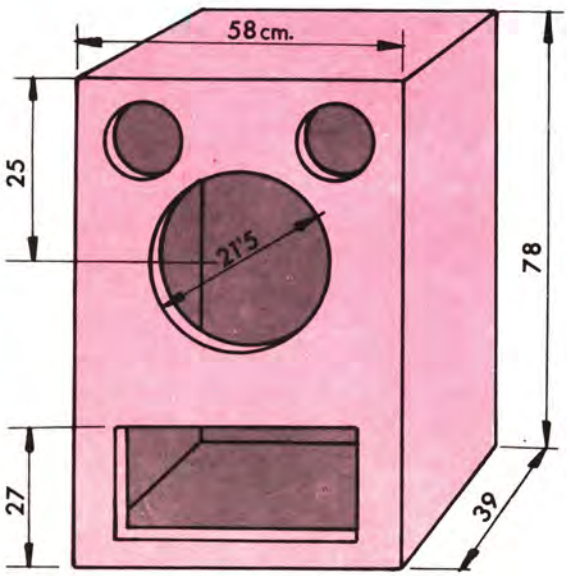
Hemos hablado de unidades reproductoras formadas por más de un altavoz; y sin embargo ninguno de los *baffles* anteriores es adecuado para estas disposiciones.

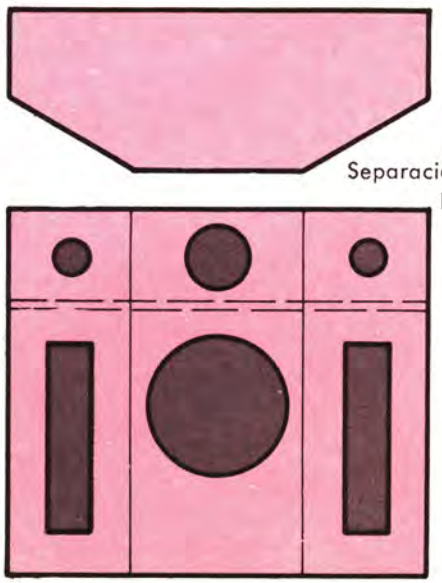
En la figura *e*) se representa unos de estos *baffles* adecuado para albergar un altavoz de graves y dos de agudos. Las dimensiones que se dan en la figura son las adecuadas para un altavoz de 10". Los orificios de los altavoces de agudos deben adaptarse al tamaño de los mismos.

En general, cuando en un recinto preparado para un altavoz de graves quiera colocarse una unidad especial para agudos, podrá hacerse sin variar las dimensiones del *baffle* adecuado para el primero. Si esta unidad para las altas frecuencias es una trompeta, debe tenerse en cuenta su volumen y añadirlo al necesario para el altavoz de graves.

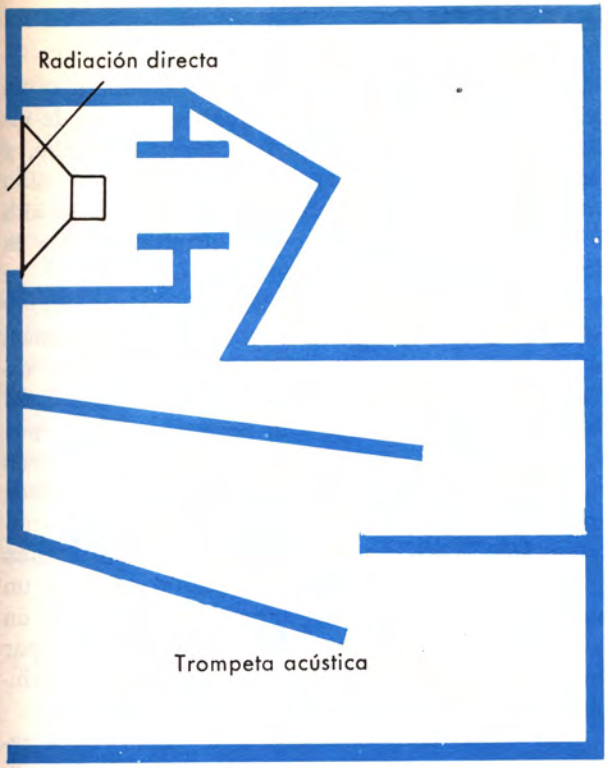
Para recintos con unidades de graves, medios y agudos, una solución casi siempre adecuada consiste en disponer sobre el *baffle* adaptado para la unidad de graves, y separado acústicamente de él, otro recinto que tenga una base de la misma forma que el *baffle* para graves y la altura necesaria para que quepan las unidades de medios y agudos. Con esta disposición, de la que puede verse un ejemplo en la figura, los resultados obtenidos son siempre buenos.

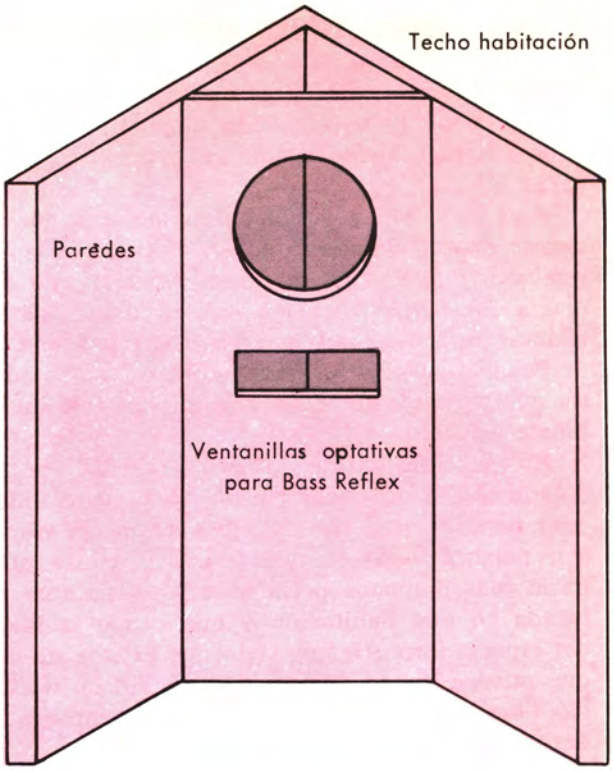
Viendo estos *baffles* especiales puede darse cuenta de que existen muchas maneras de conseguir una buena reproducción acústica y que juega en ellas un papel de suma importancia el ingenio y buen gusto del diseñador.

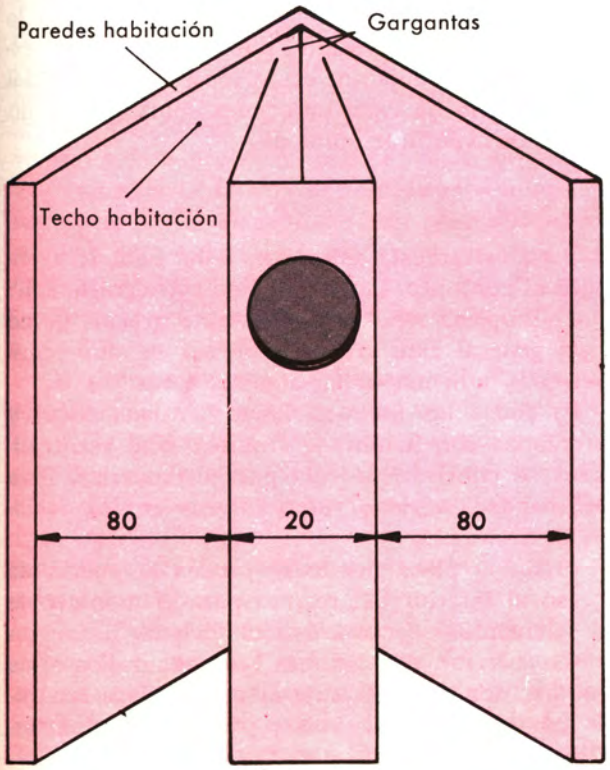


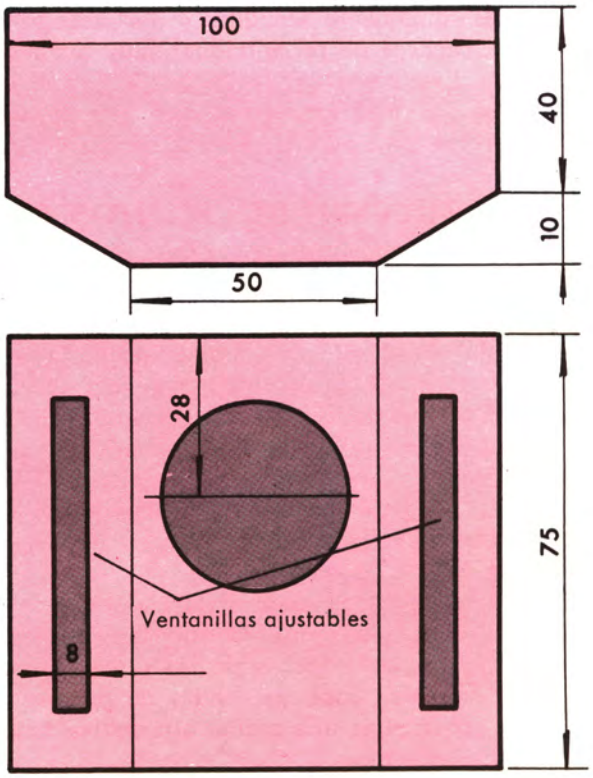


Separación rígida entre los dos recintos


Radiación directa
Trompeta acústica


Techo habitación
Paredes
Ventanillas optativas
para Bass Reflex


Paredes habitación
Gargantas
Techo habitación
80
20
80


100
40
10
50
28
75
Ventanillas ajustables
8

CONSIDERACIONES SOBRE LOS RECINTOS ACUSTICOS

A lo largo de toda la descripción de los recintos podemos habernos dado cuenta de que en ellos topamos siempre con un problema: el espacio.

Para toda pieza, sea del tipo que sea, son de desear dos cualidades: que sea buena y a la vez que sea barata. Para la pieza especial que nos ocupa, los *baffles*, debemos añadir a las dos anteriores otra cualidad más: que sea pequeña.

Pequeño, bueno y barato son, pues, los ideales que pretendemos conseguir al construir un gabinete acústico.

En principio parece que el ser bueno y pequeño son cualidades incompatibles para estas unidades; pero no por ello debemos tampoco asociar a la palabra *baffle* la idea de una pieza de mobiliario más o menos prismática y voluminosa colocada en una habitación y que ocupe la mitad del espacio libre. Hemos visto que existen diseños que pueden colocarse en cualquier rincón o espacio libre, o por lo menos poco útil, capaces de dar una excelente reproducción.

Por tanto, creemos que el tamaño pequeño y la calidad son perfectamente compatibles desde un punto de vista relativo. Naturalmente, a nadie se le ocurrirá, a pesar de lo dicho, pensar en un buen *baffle* del tamaño de un radio transistor.

Los factores bueno y barato son también compatibles, pues ha podido comprobarse que existen unidades sumamente sencillas, y por consiguiente baratas, capaces de proporcionar muy buenos resultados. Existen, desde luego, *baffles* de resultados casi nos atreveríamos a decir inmejorables cuyo precio está acorde con su categoría; pero debe admitirse que no es mucha la diferencia en la calidad del sonido reproducido por una de estas unidades y el que da una unidad sencilla, y en muchas ocasiones apreciable sólo por un oído muy adecuado y versado en audiciones de alta fidelidad. Entonces cabe preguntarse si vale la pena gastar esa cantidad.

Desde luego, como se ha dicho ya, precio y calidad son dos factores relacionados íntimamente sobre los que se ha hablado con bastante extensión. Aquí sólo cabe añadir que la calidad del *baffle* ha de ser pareja a la del resto del equipo: de nada servirá disponer de un *baffle* capaz de reproducir 20 ciclos si el amplificador no puede amplificarlos o la fuente de programa suministrárselos. Una vez determinada esta calidad, existen diversas maneras de obtenerla. El trabajo de un buen técnico consiste en saber alcanzarla con un coste mínimo y con un espacio que no tiene por qué ser mínimo, sino lo más adecuado a la habitación donde se instale el equipo.

Por tanto, podemos decir que, dentro de la relatividad de los términos, es compatible la calidad con el bajo coste y el pequeño tamaño.

Otro factor a tener en cuenta en los *baffles* es su aspecto exterior. No hay que perder de vista que un *baffle* comparte en una habitación el espacio con otros muebles, con los que tiene que formar un conjunto acogedor. Para ello deberá tener un aspecto adecuado en cada caso. Aquí la papeleta debe resolverla el buen gusto y no el espíritu técnico; dejamos este aspecto a merced del buen criterio de cada uno, pues sobre gustos no queremos aventurar opiniones.

CONSTRUCCION DE RECINTOS ACUSTICOS

A pesar de que se hallan en el comercio *baffles* adecuados a todas las necesidades y gustos, no falta quien desea construir su propio recinto.

Sin ánimos de ofender el amor propio a nadie, empezaremos por recomendar que, una vez efectuado el cálculo de la unidad, se encargue su construcción a alguien con probada experiencia sobre este tipo de trabajos; pero para quien desea adquirir su propia experiencia y probar algun montaje, daremos algunas instrucciones que son el ABC de todo constructor.

En los *baffles* es esencial la rigidez para evitar toda vibración. Pensemos que las paredes están sometidas a la acción de las ondas sonoras, que no son otra cosa que ondas de presión que ejercen sobre ellas una acción alternativa tendente a hacerlas vibrar.

Para evitar esta vibración debe conferirse rigidez al conjunto. Las formas de conseguirlo son:

a) Emplear madera de bastante grosor. Como regla general este grosor debe ser de dos centímetros, y aun mayor en algunos casos.

b) Todas las uniones deben ser herméticas y reforzadas con listones o tirantes. Una vez realizadas se cubrirán de cola para estancarlas. Esta recomendación tiene sumo interés en los recintos de trompeta.

c) En la placa donde se provea la puerta de acceso al interior del recinto para el montaje de los elementos electroacústicos deberá haber un marco interior, con listones bien afianzados a las paredes, donde pueda sujetarse esta placa separable por medio de gruesos y poco espaciados tornillos.

Debe ponerse especial cuidado en el diseño de la posición de las aberturas; y desde luego en que no queden otras además de las calculadas para evitar cualquier resonancia indeseable.

El interior del *baffle*, y especialmente en donde haya una unidad para agudos, debe recubrirse de una capa de material absorbente para evitar reflejos indeseados.

Es aconsejable tratar las caras anteriores de la madera con algún material que la impermeabilice, pues de este modo no sufre deformaciones por causa de la humedad.

Estas son las recomendaciones esenciales, aunque podría decirse que la construcción de un *baffle* está regida por la observancia de pequeños detalles que sólo la experiencia puede dictar.

Un baffle de calidad: el "The Fisher XP-10".

COLOCACION DE LOS ALTAVOCES EN EL INTERIOR DEL BAFFLE

El altavoz debe sujetarse firmemente a la tabla donde vaya colocado, cuidando que no queden huecos entre él y la madera por los que pueda pasar el aire de la parte posterior a la anterior. Para evitar esta fuga de aire los altavoces generalmente van provistos de una cinta de fieltro que rodea su borde exterior. En caso de no tenerla habrá que colocarla.

Para fijar el altavoz al *baffle* no deben emplearse soportes amortiguadores, sino rígidos.

Una vez colocados los altavoces en el recinto hay que proceder a su conexión con la salida del altavoz. Cuando el gabinete contiene un solo altavoz no existe problema alguno, pues simplemente se conecta la salida del amplificador a sus bornes; pero si en el gabinete van colocados dos o más altavoces, hay que cuidar la previa puesta en fase de los mismos.

Veamos en qué consiste esta operación y cómo se lleva a cabo:

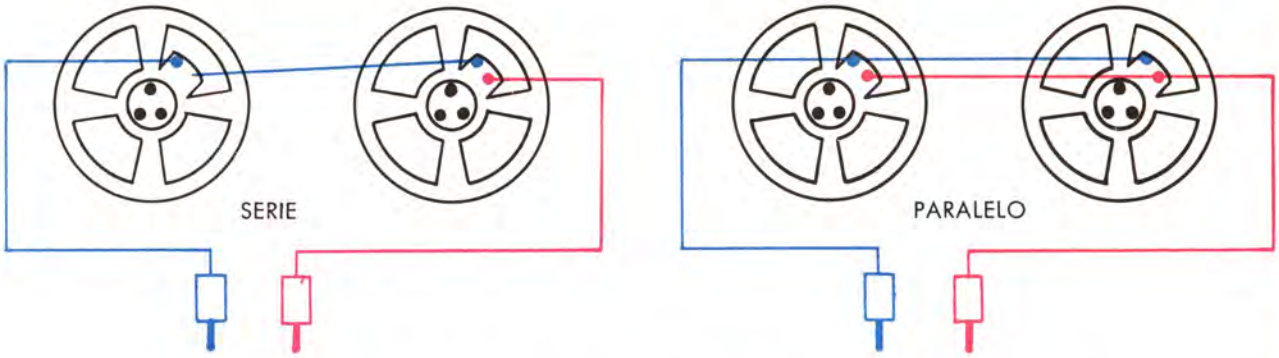
Al proporcionar a los bornes del altavoz una tensión constante, el cono sufre un desplazamiento, hacia adelante o hacia atrás, según la polaridad de esta tensión. Se dice que dos o más altavoces están conectados en fase cuando al aplicar una tensión única al conjunto los desplazamientos que sufren los conos son en cada instante del mismo sentido.

Para conseguir esta puesta en fase se procede como sigue: se toma una pila de 1'5 V y se conecta a los bornes del altavoz con la polaridad conveniente para que su cono se desplace hacia adelante. Entonces se marca con una señal el borne del altavoz que ha estado en contacto con el polo positivo de la pila. Se repite la operación con cada uno de los altavoces que deba contener el *baffle*.

En la mayoría de los casos el fabricante marca ese borne con un punto rojo.

Una vez marcados los bornes hay que proceder a conectarlo al circuito divisor correspondiente. Para ello se une la toma común del cir-

Aspecto interior de un baffle.



Cuando en un recinto acústico se utiliza más de un altavoz, se les conectará en serie o en paralelo según sea la impedancia que convenga obtener. En cada caso se respetará las indicaciones de las figuras a fin de conseguir que todos trabajen en fase.

cuito divisor a los bornes no marcados de los altavoces y la toma correspondiente de cada canal a los bornes marcados.

Si se emplean en el recinto dos o más altavoces iguales, sin circuito divisor de frecuencias, existen dos posibilidades de conexión:

a) Conexión en serie.

b) Conexión en paralelo.

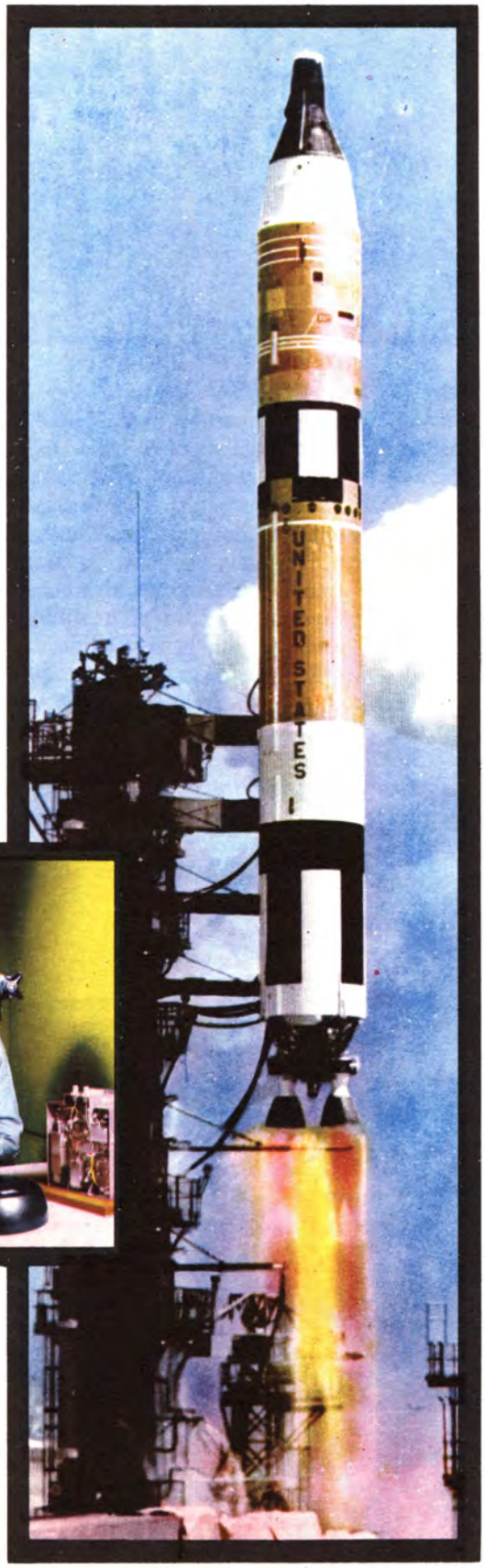
Para el caso de la conexión en serie se procede de la misma manera que se conectarían dos o más pilas en serie, tomando los bornes marcados como positivos; es decir, uniendo el borne marcado de cada altavoz con el no marcado del siguiente. Quedan libres el no marcado del primero y el marcado del último, que constituyen los bornes del conjunto.

Para la conexión en paralelo, como puede intuirse, se unen por un lado todos los bornes marcados y por el otro los no marcados, constituyendo los dos bornes resultantes los del conjunto.

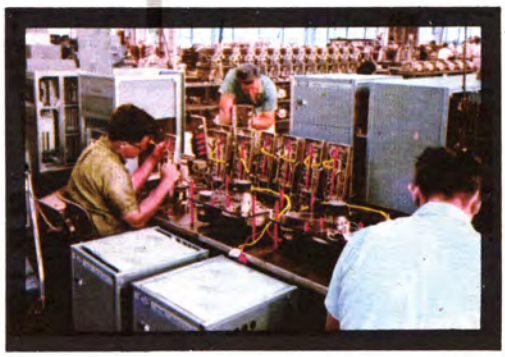
* * *

LECCION 48

Amplificadores de alta fidelidad
El transformador de salida
Pasos de potencia equipados con triodos o con pentodos
Preamplificadores



electronia radio + tv



AMPLIFICADORES DE ALTA FIDELIDAD

Es obvio que ninguna de las fuentes de programa estudiadas proporciona señales de características adecuadas para accionar directamente los altavoces.

Es preciso intercalar entre aquéllas y éstos una unidad capaz de dar a las señales generadas por la fuente la amplitud necesaria para accionar el altavoz y hacer factible además, cuando sea conveniente, modificar la curva de respuesta de la primera. Esa unidad es el *amplificador de Hi-Fi.*

El amplificador es la parte más importante del equipo, y acaso aquella en que el usuario tiene más posibilidades de dejar sentir sus gustos en cuanto a las particularidades de audición.

Allí es donde han de compensarse, si existen, las deficiencias o deformaciones de los demás elementos y desde donde puede controlarse la mayor parte de las características del sistema.

Al iniciar el estudio de esta parte esencial del equipo veremos, en primer lugar, cuáles deben ser las características básicas de un amplificador de alta fidelidad, y proseguiremos con la descripción de los circuitos que pueden proporcionárnosla.

En la parte correspondiente a las características de los amplificadores de alta fidelidad distinguiremos, de una parte, entre las cualidades que debe poseer todo amplificador y las características que pueden introducirse en él mismo para obtener mayor fidelidad, o una «alta fidelidad» más adaptada al gusto del oyente.

En lo que respecta a los circuitos con que pueden obtenerse los resultados deseados, dividiremos el amplificador en etapas, en cada una de las cuales analizaremos el modo de conseguir la característica más adecuada.

CUALIDADES QUE DEBE REUNIR UN AMPLIFICADOR DE HI-FI

Para que pueda considerarse que es de alta fidelidad, el amplificador debe reunir las siguientes cualidades:

1. Respuesta de frecuencia plana y adecuada para reproducir toda la gama de audio.
2. Potencia suficiente como para poder reproducir, en su alcance dinámico, cualquier sonido sin dar muestras de sobrecarga.
3. Distorsión armónica a máxima potencia inferior al 2 %.
4. Presentar una característica de fase adecuada para la banda pasante.
5. Nivel de ruido bajo (del orden de —60 db).
6. Bajo nivel de zumbido.
7. Impedancia de salida baja para segurar amortiguamiento del altavoz.

Entre los dispositivos adicionales que pueden introducirse en un amplificador de alta fidelidad, capaces de modificar a gusto del auditor las características esenciales de la unidad básica amplificadora, cabe destacar:

1. Controles de tono y de volumen adecuados para modificar la curva de respuesta.
2. Dispositivos para la selección entre varias fuentes de programa o la mezcla con adición simultánea de alguna de ellas.
3. Diversas entradas adaptadas a cada fuente de programa, según su nivel de salida y su impedancia.
4. Filtros adecuados para variar la banda pasante.
5. Filtros de zumbido.
6. Controles para regular la atenuación o la acentuación de determinadas frecuencias.

Características de frecuencia

Hemos tratado algunas veces de cuál debe ser la respuesta de frecuencia de un amplificador de alta fidelidad, cuyas frecuencias de corte inferior y superior se fijan en 20 y 20.000 c/s respectivamente.

Una respuesta plana en toda esta banda proporciona resultados inmejorables. Un aumento de la respuesta de frecuencia no rinde ninguna ventaja práctica en equipos destinados al uso no profesional, pues raras son las fuentes de programa disponibles capaces de dar todas las frecuencias comprendidas entre los dos límites indicados. El alcance de frecuencia de las fuentes sonoras comunes por lo general no excede de la banda comprendida entre 30 y 16.000 c/s.

Por otra parte, hay que pensar en la respuesta de los altavoces. No es un ideal imposible, ni mucho menos, querer reproducir la frecuencia de veinte ciclos; pero se precisa disponer de un excelente altavoz de graves y de un no menos excelente y voluminoso *baffle*, particularidades que no se satisfacen en la inmensa mayoría de los casos. Por otra parte, reproducir frecuencias de 20.000 c/s no representa dificultad alguna; pero llevarlo a cabo lleva consigo otras perturbaciones que más adelante veremos.

A pesar de ello, la respuesta de algunos amplificadores es superior a la indicada; pero en estos casos no es un aumento de la gama de frecuencias amplificadas lo que buscamos como fin, sino otra mejora que lleva aparejada esta respuesta más amplia: la disminución del defase entre las ondas de entrada y salida dentro del margen en que funciona el amplificador.

Pero aun obteniendo una mejora indirecta con el aumento de la banda pasante, no podemos abusar de ello por varias razones.

En primer lugar, la tensión de ruido generada en un amplificador es proporcional a la raíz cuadrada de su banda pasante. Por tanto, al aumentar la banda se aumenta automáticamente el ruido.

Por otra parte, a frecuencias superiores a 20.000 c/s existe una posibilidad muy elevada de que el amplificador genere oscilaciones ultrasonoras que contribuyen en gran manera al aumento de la intermodulación, distorsión en general y ruido de la amplificación, con la consiguiente merma en calidad de la reproducción.

Tampoco escapa al perjuicio general del amplificador un aumento innecesario en las bajas frecuencias. Reproducir frecuencias inferiores a 70 u 80 c/s lleva consigo algunas desventajas a veces difíciles de superar. Al amplificar notas de hasta 20 c/s hay que pensar en eliminar el zumbido, las vibraciones mecánicas, las irregularidades en la rotación del plato giradiscos, etc., trabajo que puede ahorrarse en los amplificadores cuya frecuencia límite no sea inferior a 70 u 80 c/s.

La respuesta de frecuencia es, pues, un dato un poco engañoso y por ello no hay que creer que la mejor de dos unidades es la que presenta una respuesta de frecuencia más amplia.

Tampoco hay que creer que un amplificador con banda muy ancha ha de poseer las desventajas mencionadas. Existen muchas unidades con bandas de límite inferior a 10 ciclos y superior a 30.000 que reproducen esta gama con gran perfección; pero se trata de amplificadores muy elaborados y de coste elevado.

La banda pasante del amplificador del equipo es, pues, uno de los factores más importantes a considerar. Para obtener buenos resultados debe elegirse una unidad cuya respuesta de frecuencia sea adecuada para las notas que proporcione la fuente de programa que se dispone. Elegir un amplificador con respuesta más amplia no mejora los resultados, y en cambio aumenta considerablemente el coste.

En lecciones anteriores se han expuesto las bandas pasantes correspondientes a las fuentes sonoras más comunes.

Resumiendo, lo acertado es elegir, para un equipo de alta fidelidad, un amplificador de categoría similar a la de los demás componentes. La compra o construcción de una unidad de características superiores sólo se justifica si en un próximo futuro se pensase renovar al mismo tenor el resto del equipo.

Potencia de salida

En principio el amplificador de alta fidelidad ha de estar capacitado para dar una reproducción del alcance dinámico del sonido real. Esto es bastante difícil de conseguir en un equipo, a menos que admita una potencia mucho mayor que aquella con que trabaja en uso normal. La máxima distorsión aceptada en los picos de potencia, considerando el rendimiento del sistema de altavoces y el alcance dinámico necesario, serán los factores que determinen la potencia.

En general, para un sistema de reproducción casero es suficiente una potencia de 10 a 15 vatios para obtener buenos resultados. Con unos 30 vatios los resultados son óptimos, si bien algunos aficionados prefieren utilizar equipos con potencias mucho mayores, de hasta 60 vatios por ejemplo. Aunque pueda parecer exagerado, este proceder se justifica en el caso de utilizar altavoces cuyo rendimiento acústico ha sido intencionadamente reducido con el fin de conseguir una mayor banda pasante. Empleando un reproductor de tipo bocina, las potencias requeridas pueden reducirse a la mitad a causa del mayor rendimiento acústico del sistema.

Distorsión

A la potencia nominal la distorsión debe ser inferior al 1 %; y puede tolerarse hasta un 2 % en los picos de potencia. Para potencias inferiores a la nominal, 0'5 % será un valor aceptable para la distorsión.

El oído humano no percibe distorsiones de hasta 1 % si esta distorsión es armónica; en cambio es capaz de detectar porcentajes mucho más bajos si existe distorsión del tipo de intermodulación.

Características de fase

Lo ideal sería que no tuviera lugar ningún defase entre las señales de entrada y salida del amplificador; pero por desgracia esto sucede, y tan sólo es posible reducirlo dentro de cierto margen.

Ya vimos lo esencial del tener una buena característica de fase en miras a la obtención de una pequeña distorsión de este tipo.

Otro factor que depende de esta característica y de la respuesta de frecuencia es la respuesta a los transitorios.

Una buena respuesta a los transitorios es sinónimo de una frecuencia límite superior elevada (buena respuesta a altas frecuencias) y de un pequeño defase.

Otra importante razón para desear que el amplificador de Hi-Fi no presente distorsión de fase es que, como más adelante veremos, todos trabajan con elevados porcentajes de realimentación negativa. El defase entre la señal de entrada y salida puede dar lugar, a través del lazo de realimentación, a un funcionamiento inestable del amplificador e incluso a oscilaciones de frecuencia ultrasonora.

Ruido y zumbido

En las lecciones anteriores hemos dicho lo que era el ruido, pero hemos hablado también de zumbido; y si no precisamos las diferencias entre los dos términos quizás pueda existir la confusión de tomarlos como sinónimos.

El zumbido está constituido por una serie de tensiones inducidas en los diferentes circuitos del amplificador, sea por campos electromagnéticos o sea por electrostáticos.

Con sólo esto podemos apreciar una diferencia esencial entre ruido y zumbido. El ruido procede de perturbaciones interiores de los elementos, inherentes a su constitución y originadas por el carácter aleatorio de estas perturbaciones. El zumbido, en cambio, es de origen externo a los componentes del circuito.

El zumbido no sólo puede generarse en el amplificador; también es posible que aparezca en las fuentes de programa. Puede generarse, por ejemplo, en un fonocaptor magnético al inducirse en él tensiones por el campo magnético del motor.

También puede producirlo la proximidad de alguna de las conexiones del amplificador, en especial las correspondientes a las primeras etapas, al transformador de alimentación; por la tensión alterna de los filamentos y, en fin, por cualquier campo que se halle cerca de algún elemento del circuito.

Sea cual fuere el origen de estas tensiones, la realidad es que se amplifican junto con la señal y producen en el altavoz la indeseable respuesta característica que denominamos zumbido.

Como ocurre con el ruido, hay que cuidar de que no se produzcan tensiones de zumbido en las primeras etapas de amplificación con mucho más esmero que en las posteriores. Naturalmente, el motivo es el mismo que llevaba a cuidar el bajo ruido en las etapas de entrada.

Una forma de evitar el zumbido, o por lo menos reducirlo en alto grado, es emplear pantallas magnéticas en todos los puntos en que existan campos electromágneticos.

Hay que evitar también las líneas largas entre las fuentes de programa y el amplificador. Si fuese inevitable el empleo de líneas de considerable longitud (algunos metros), la transmisión se hará a baja impedancia, utilizando a la salida de la fuente de programa un paso seguidor catódico.

Si la línea es de alta impedancia, aunque sea corta, deberá construirse con cable apantallado de baja capacidad.

A veces los términos ruido y zumbido no se distinguen entre sí como lo hemos hecho nosotros, y se considera como ruido al conjunto de todas las perturbaciones, sean las del ruido propiamente dicho o las del zumbido; entonces se da el nombre de ruido blanco a lo que llamamos ruido.

CIRCUITOS DE LOS AMPLIFICADORES DE ALTA FIDELIDAD

Hasta ahora hemos visto qué cualidades debía tener un amplificador de alta fidelidad. En lo que sigue nos ocuparemos de cómo pueden conseguirse estas cualidades, con qué elementos hay que lograrlo y cómo deben combinarse, o sea qué circuitos deben proporcionarlas.

En todo amplificador de alta fidelidad encontraremos los siguientes circuitos:

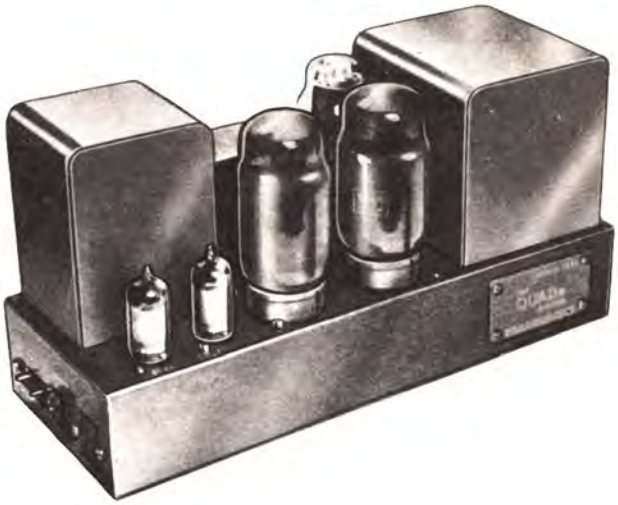
1. Elementos para proporcionar la salida de potencia.
2. Circuito de inversión de fase (si el paso de salida trabaja en contrafase).
3. Amplificador de tensión.
4. Preamplificador.
5. Circuitos de compensación y control.

El circuito de estos elementos se agrupa en dos secciones distintas que o se montan formando unidades independientes, o son fácilmente diferenciables cuando se han incluido en una sola unidad.

Esas secciones son:

1. El preamplificador.
2. El amplificador de potencia.

En la primera se incluyen el preamplificador propiamente dicho y los circuitos de compensación y control; la segunda, además del paso de potencia, incluye el defasador y el amplificador de tensión.



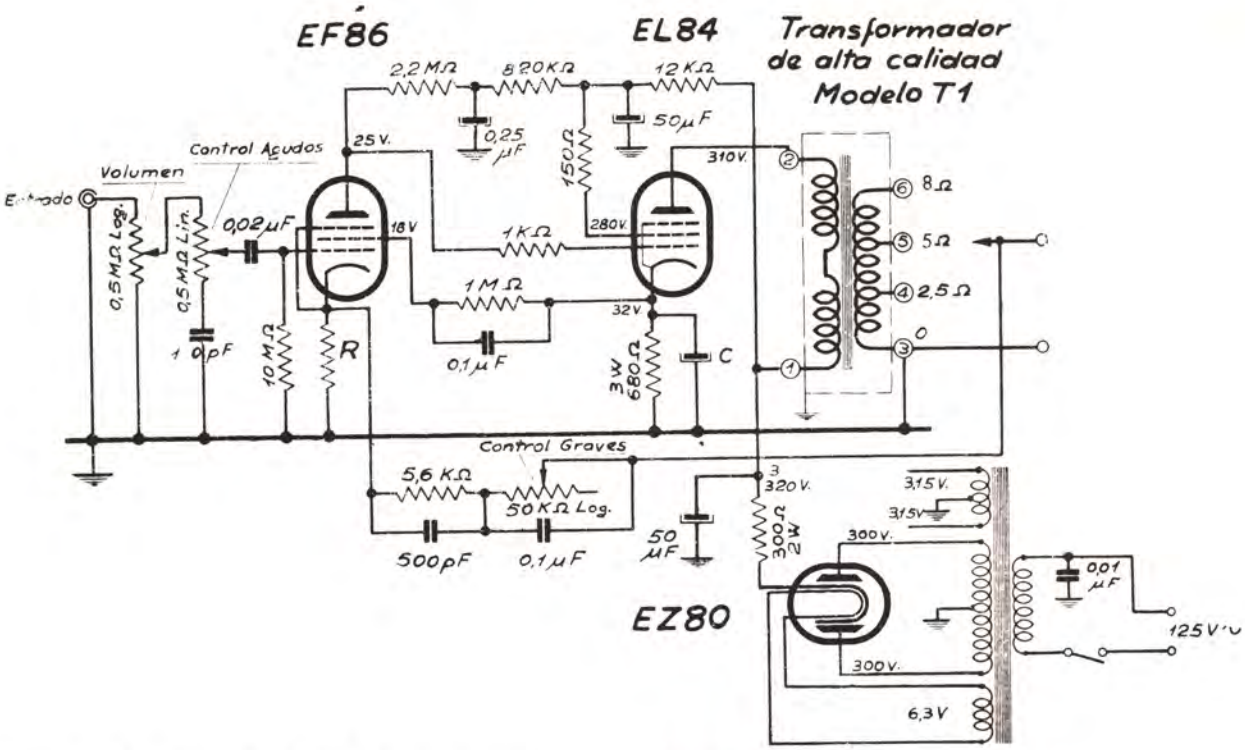
El amplificador de Hi-Fi puede estar formado por dos unidades independientes (preamplificador y amplificador de potencia) o por una sola que incluye a las dos secciones.
El conjunto Quad 22 (previo) + Quad II (amplificador de potencia) es un ejemplo del primer caso.
El amplificador The Fisher X-100-A es un buen ejemplo del segundo.

AMPLIFICADORES DE POTENCIA PARA HI-FI

Diversas comprobaciones experimentales hacen estimar que el nivel sonoro medio necesario para una buena inteligibilidad de la palabra y de la música es de unos 85 fonios.

Para conseguir ese nivel sonoro en una habitación se requiere que los altavoces generen una potencia sonora cuyo valor depende del volumen de la habitación y de las condiciones acústicas. Estimando que la habitación en que se instale el equipo de Hi-Fi en una casa moderna sea de unos 60 m³ y que sus condiciones acústicas sean medianas, para conseguir esos 85 fonios la potencia acústica generada por los altavoces habrá de tener un valor aproximado a 0'15 vatios. Téngase bien presente que ésa es la *potencia acústica* que deben generar los altavoces y no la *potencia eléctrica* que ha de suministrar el amplificador.

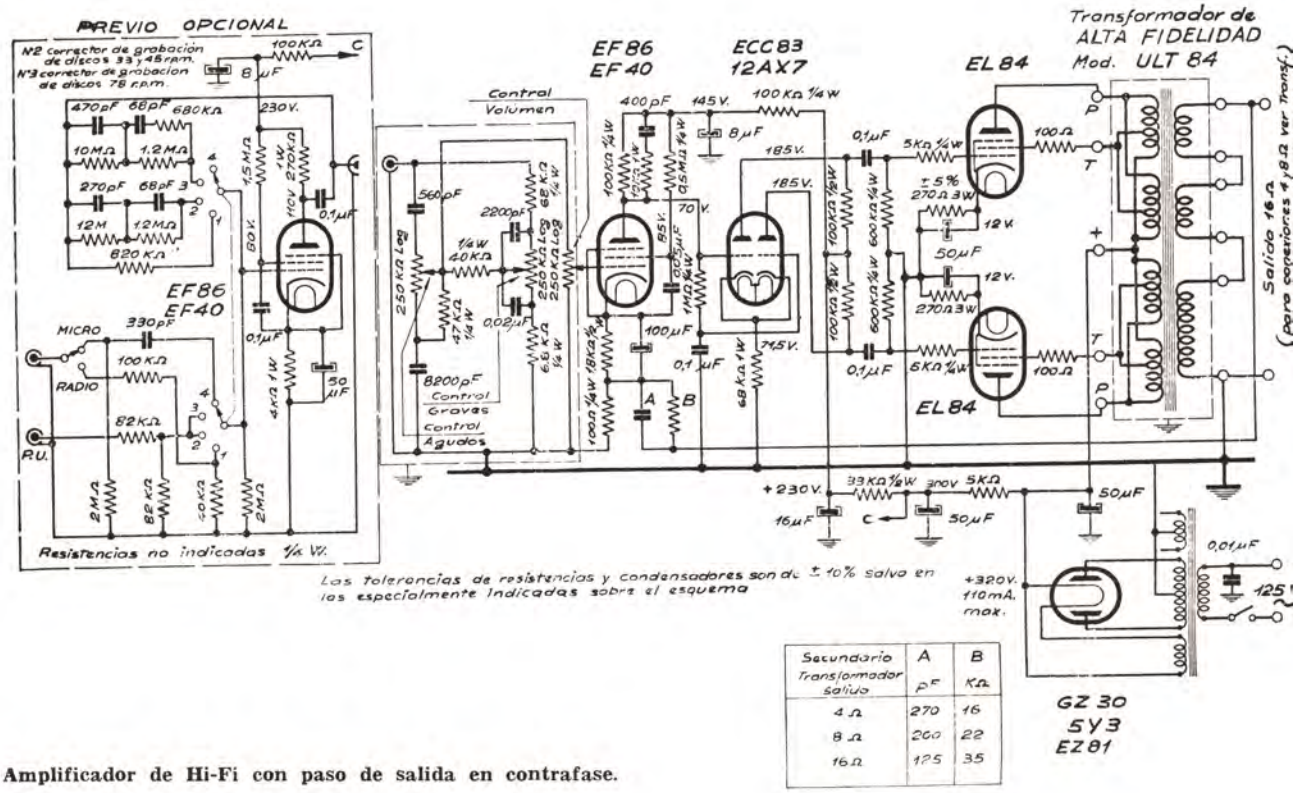
Los altavoces son, como sabemos, dispositivos electromecánicos que convierten energía eléctrica en energía sonora; ahora bien, esa conversión



Amplificador de calidad con paso de salida simple.

Secundario	R
2,5 Ω	150 Ω
5 Ω	120 Ω
8 Ω	80 Ω

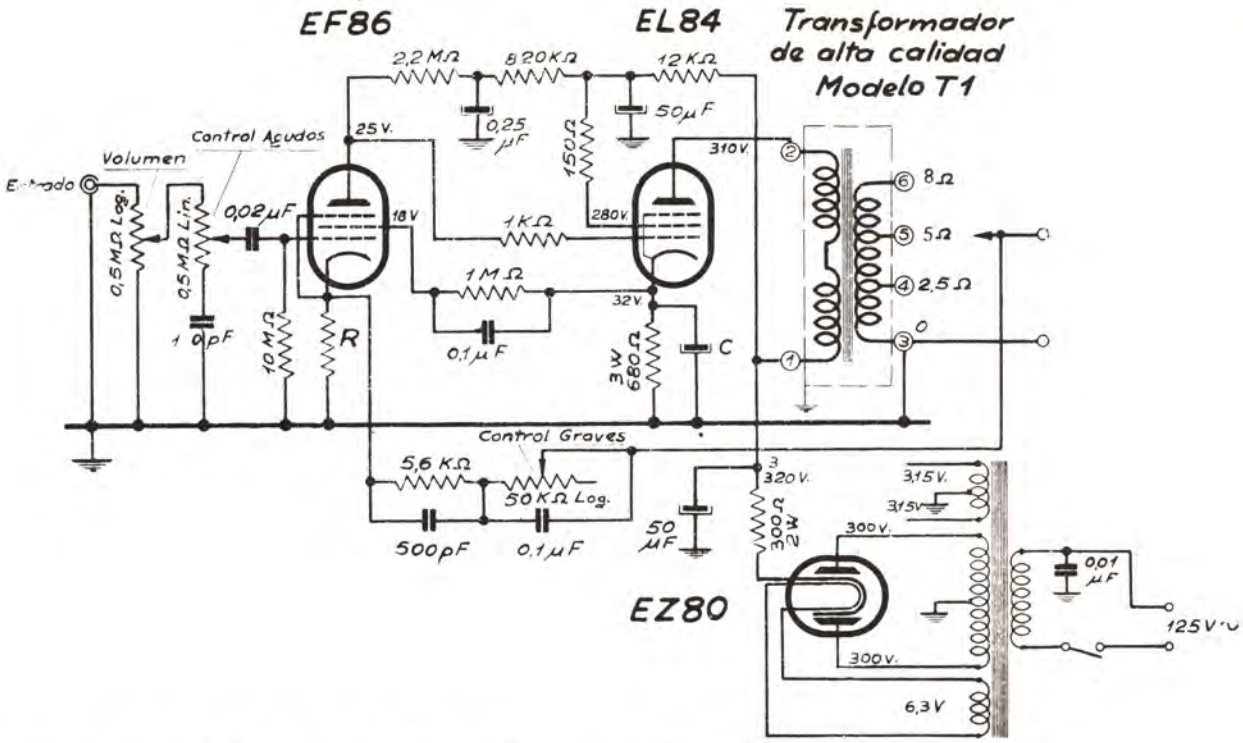
C = 30 μF. No es conveniente aumentar este valor



Las tolerancias de resistencias y condensadores son de ± 10% salvo en los especialmente indicadas sobre el esquema

Secundario Transformador salida	A pF	B KΩ
4 Ω	270	16
8 Ω	200	22
16 Ω	125	35

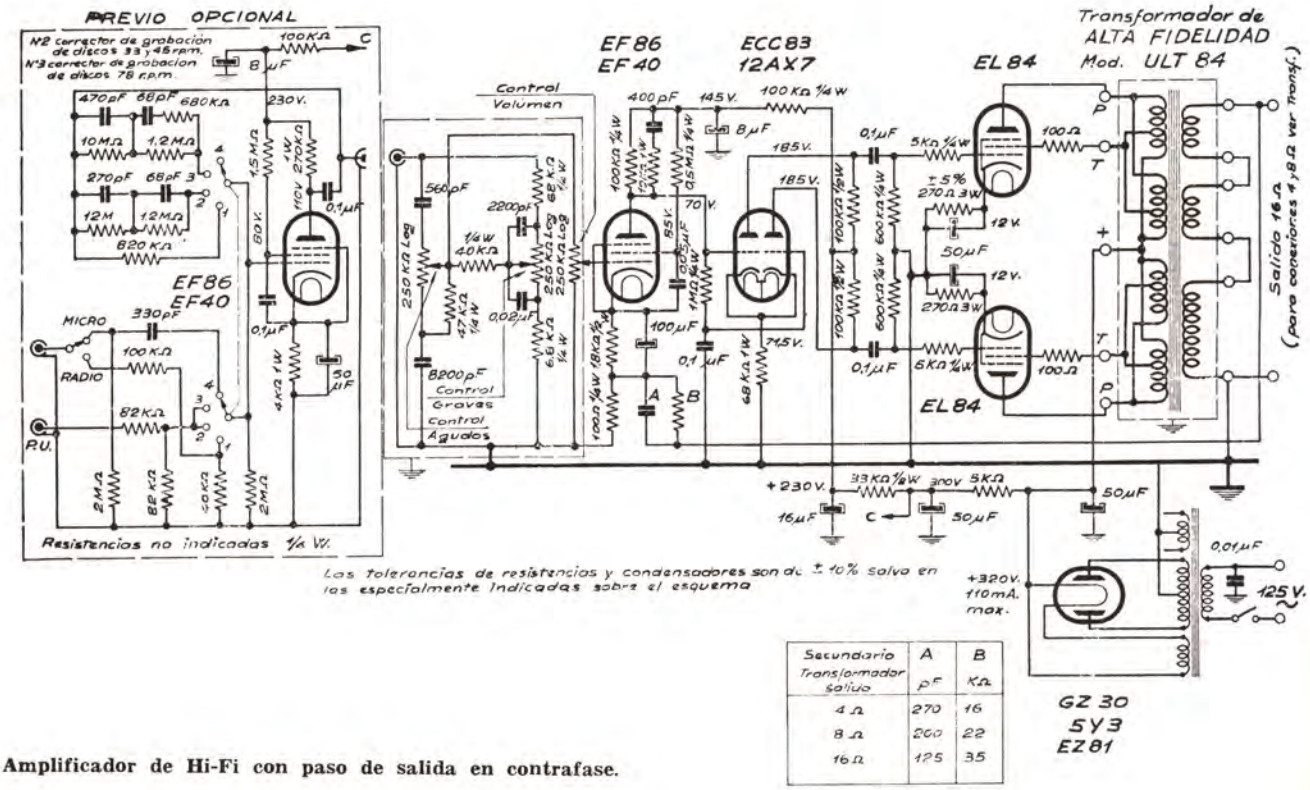
Amplificador de Hi-Fi con paso de salida en contrafase.



Amplificador de calidad con paso de salida simple.

Secundario	R
2,5 Ω	150 Ω
5 Ω	120 Ω
8 Ω	80 Ω

C = 30 μF. No es conveniente aumentar este valor



Los tolerancias de resistencias y condensadores son de ± 10% salvo en las especialmente indicadas sobre el esquema

Secundario Transformador salida	A pF	B KΩ
4 Ω	270	16
8 Ω	200	22
16 Ω	125	35

Amplificador de Hi-Fi con paso de salida en contrafase.

tiene lugar con un rendimiento energético muy bajo. El rendimiento de un buen altavoz dinámico puede cifrarse en un 10 %, de manera que para obtener 0'15 vatios acústicos el amplificador debe suministrar 1'5 vatios eléctricos. Bien, esa será la potencia media a que habrá de trabajar el amplificador; mas para reproducir la dinámica orquestal será preciso que esté concebido de manera que proporcione sin distorsión apreciable una potencia varias veces mayor.

Por ello los amplificadores de Hi-Fi que merezcan ese nombre han de proporcionar, *como mínimo*, potencias del orden de 6 a 10 vatios con distorsión no superior al 2 %.

Las unidades de más categoría pueden proporcionar de 25 a 50 vatios con igual porcentaje de distorsión.

Los amplificadores de potencia para Hi-Fi ofrecen cierta variedad en lo que se refiere a la concepción y diseño del paso de salida. En la mayoría de los casos, sin embargo, y sobre todo en lo que se refiere a los amplificadores que el aficionado puede encontrar en el comercio en forma de kit para armar, los pasos de salida están constituidos por la válvula o válvulas de potencia en cuyo circuito de placa se incluye el primario de un transformador que transfiere la energía al altavoz.

El principio de funcionamientos de estos pasos fue descrito en la lección 25, de manera que aquí analizamos con preferencia las particularidades que han de satisfacer los elementos que los componen para cumplir con las exigencias de la alta fidelidad.

En principio, los pasos de salida con una sola válvula no son adecuados en los amplificadores de Hi-Fi, pues por una parte las máximas potencias que suministran son insuficientes y por otra los porcentajes de distorsión son demasiado elevados.

Una válvula EL84 con 250 V en placa y pantalla y una carga óptima (5200 Ω) produce, trabajando a una potencia de 3 W, una distorsión del 5 %. Para Hi-Fi el segundo valor es excesivo y el primero insuficiente.

Un paso en contrafase formado por dos EL84 trabajando en clase AB, con las mismas tensiones de alimentación que en el caso anterior, proporciona 10 W de potencia con una distorsión del 2 %. Es decir, que con respecto al paso simple la potencia obtenida es mucho mayor del doble y la distorsión inferior a la mitad.

Estas últimas características cabe considerarlas como adecuadas para Hi-Fi. Desde luego, añadiendo a los amplificadores un lazo de realimentación puede obtenerse esas mismas potencias con distorsiones notablemente menores.

Los dos esquemas corresponden a sendos amplificadores de la firma Roselson. El primero utiliza un circuito muy poco convencional que fue desarrollado originalmente por los laboratorios de la firma Mullard. La realimentación negativa reduce la distorsión al 1'5 % para una potencia de 3 W.

Como se ve, y desde el punto de vista de la distorsión, puede incluírsele dentro de la categoría de Hi-Fi. Su potencia, sin embargo, es insuficiente en muchos casos; pero si el local a sonorizar es pequeño puede resultar interesante, sobre todo teniendo en cuenta la economía de medios que emplea.

El segundo circuito proporciona, según el constructor, una potencia de 10 W con una distorsión del orden del 0'2 %, resultado que puede considerarse como plenamente satisfactorio en la mayoría de los casos.

Esas cifras nos indican lo que debemos exigir cuantitativamente de un amplificador de alta fidelidad.

Analicemos ahora con detalle el funcionamiento de cada una de las partes que constituyen el amplificador de potencia y veamos qué condiciones han de satisfacer para conseguir resultados de ese orden.

AMPLIFICADORES DE POTENCIA CON TRANSFORMADOR DE SALIDA

Como bien sabemos, el objeto del transformador de salida es adaptar la impedancia de entrada del altavoz, que suele ser de unos pocos ohmios, a la impedancia óptima de carga de la válvula de salida, cuyo valor suele ser de varios miles de ohmios.

La forma en que se consigue esa adaptación fue explicada en la lección 19 y aquí la repasamos brevemente.

Recordemos que el dato más característico de un transformador es la relación de espiras —*a*— entre primario y secundario. Es decir,

$$a = \frac{\text{número de espiras del primario}}{\text{número de espiras del secundario}} = \frac{n_p}{n_s}$$

En función de ese dato podemos establecer las siguientes relaciones:

a) Entre la tensión del primario V_p y la tensión del secundario V_s existe la relación

$$\frac{V_p}{V_s} = a$$

de donde deducimos que

$$V_p = a \times V_s$$

y que

$$V_s = \frac{V_p}{a}$$

b) Entre la intensidad en el primario I_p y la intensidad en el secundario existe la relación

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{1}{a},$$

de donde deducimos que

$$I_p = \frac{I_s}{a},$$

y que

$$I_s = a \times I_p$$

c) Si a través de ese transformador un generador suministra energía electrica a una resistencia R_s conectada al secundario, entre la tensión e intensidad del secundario existe, de acuerdo con la ley de Ohm, la relación siguiente:

$$\frac{V_s}{I_s} = R_s,$$

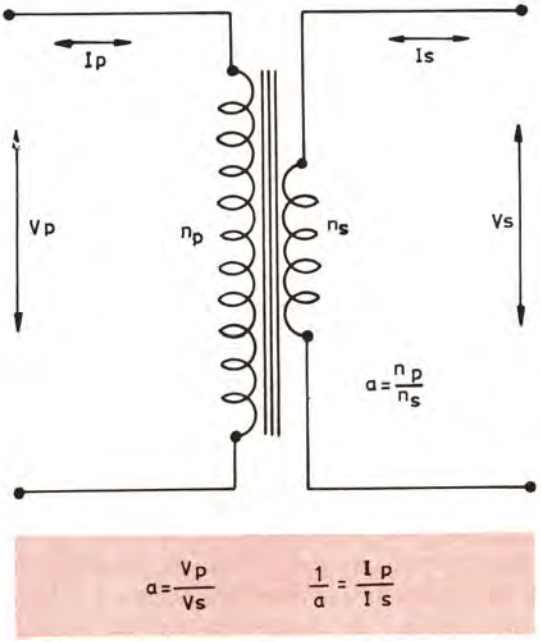
y entre la tensión e intensidad del primario la relación es

$$\frac{V_p}{I_p} = \frac{aV_s}{\frac{I_s}{a}} = a^2 \times \frac{V_s}{I_s} = a^2 \times R_s$$

Es decir el hecho de intercalar el transformador entre el generador y la resistencia R_s hace que el generador trabaje como si estuviese suministrando energía no a la resistencia R_s, sino a una resistencia de valor $a^2 \times R_s$.

Esta propiedad puede enunciarse diciendo que *un transformador «refleja» en su primario una impedancia igual a la conectada al secundario multiplicada por el cuadrado de la relación de espiras.*

Las cualidades de un transformador de salida no pueden apreciarse por su aspecto exterior, pero todos tienen un tamaño generoso y están adecuadamente apantallados.



Relación entre las tensiones e intensidades de primario y secundario de un transformador ideal.

Concretemos con un ejemplo numérico. Si al secundario de un transformador cuya relación de espiras es $a = 10$ se conecta una resistencia de $Z_p = 1\ \Omega$, la impedancia que presenta el primario es de $Z_p = a^2 \times Z_s = 10^2 \times 1 = 100\ \Omega$. Si en cambio la resistencia conectada fuese de 8 Ω, la impedancia ofrecida por el primario sería $Z_p = 10^2 \times 8 = 800\ \Omega$.

Cuando un transformador de salida deba adaptar la impedancia de salida (Z_p) de una válvula determinada a la impedancia de entrada (Z_s) de un altavoz concreto, la relación de espiras con

que debe estar construido se determina a partir de la relación

$$Z_p = a^2 \times Z_s$$

de lo cual se deduce que

$$a = \sqrt{\frac{Z_p}{Z_s}}$$

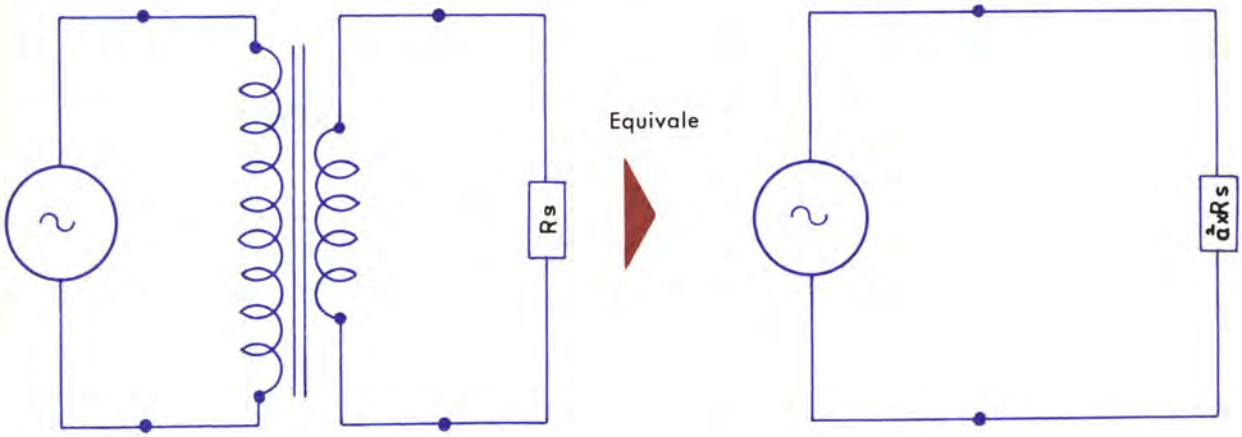
Supongamos, por ejemplo, que deseamos conocer la relación de espiras que debe tener un transformador para acoplar correctamente una válvula EL84 a un altavoz de 8 Ω.

Supuesto que tanto la placa como la pantalla trabajan a 250 V, la impedancia óptima de carga para la EL84 es de 5200 Ω. Esa debe ser, por tanto, la impedancia ofrecida por el primario del transformador cuando su secundario esté conectado al altavoz.

En consecuencia,

$$a = \sqrt{\frac{Z_p}{Z_s}} = \sqrt{\frac{5200}{8}} = \sqrt{650} = 25'5$$

Es decir, el primario del transformador debe tener 25'5 espiras por cada espira del secundario.



Un transformador ideal "refleja" en el primario una impedancia igual a la conectada al secundario multiplicada por el cuadrado de la relación de espiras.

El transformador ideal

Un transformador cuyo comportamiento fuese exactamente el que indican las ecuaciones anteriores sería, ciertamente, algo digno de admiración.

Tendría, entre otras, estas notables cualidades:

1. De acuerdo con la relación

$$I_p = \frac{I_s}{a},$$

si por el secundario no circula corriente, tampoco circulará por el primario.

Es decir: si eliminamos la resistencia R_s conectada al secundario, con lo que éste queda en circuito abierto y la intensidad I_s es nula, la intensidad en el primario se anula también aunque el generador siga conectado a él.

Esto significa que se supone que la autoinducción del primario de un transformador ideal es infinita.

2. Supuesto el transformador en funcionamiento, la potencia aplicada al primario es

$$W_p = V_p \times I_p$$

y la potencia extraída del secundario

$$W_s = V_s \times I_s$$

Habida cuenta de que

$$V_p = a \times V_s$$

y que

$$I_p = \frac{I_s}{a} \qquad a \times V_s \times \frac{I_s}{a}$$

resulta finalmente que

$$W_p = V_s \times I_s = W_s$$

Es decir: la potencia aplicada al primario de un transformador ideal es igual a la potencia extraída del secundario. En otras palabras, el transformador ideal no tiene pérdidas y por tanto la potencia entregada al primario, cualquiera que sea su valor, se restituye íntegramente por el secundario.

3. El transformador ideal presenta las dos propiedades anteriores *cualquiera que sea la frecuencia de la tensión aplicada al primario.*

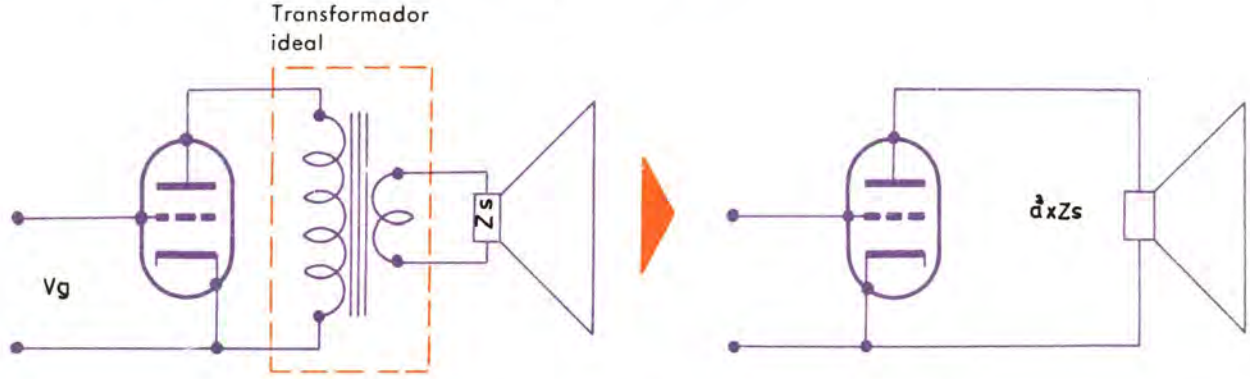
Con un transformador de salida de esas características sería una cosa muy sencilla el estudio de las condiciones de funcionamiento del paso final de un amplificador, pues bastaría con suponer que la válvula de salida trabaja sobre una recta dinámica de carga cuyo valor es igual a

$$a^2 \times Z_s;$$

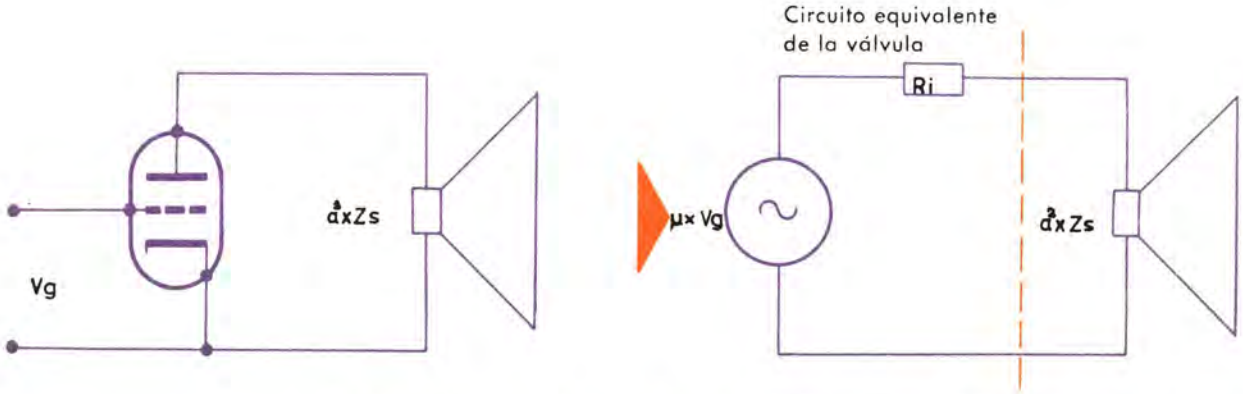
es decir, al producto de la impedancia del altavoz por el cuadrado de la relación de espiras.

Un transformador ideal se limitaría, pues, a cumplir la función que esperamos: adaptar la impedancia de entrada del altavoz a la salida de las válvulas sin introducir por su parte alteración en la forma o en la potencia de las señales.

Suponiendo además que la amplitud de las señales no sea excesivamente grande, de forma que la válvula de salida trabaje en una región lineal, el estudio del paso de salida podría hacerse mediante un esquema equivalente en el cual estuviese aplicado al primario del transformador un generador de f.e.m. igual $\mu \times V_g$ que represente a la válvula, y en el secundario una resistencia de valor Z_s que represente al altavoz. Más todavía, teniendo en cuenta el comportamiento del transformador ideal, el esquema podría reducirse suponiendo que el generador está directamente aplicada a una resistencia de valor $R = a^2 \times Z_s$. Es decir, que en el esquema equivalente del paso final ni siquiera aparecería el simbolo del transformador.



Si el transformador de salida fuese ideal, el estudio del funcionamiento del paso final podría hacerse suponiendo que la válvula de salida carga directamente (por lo que a las señales alternas se refiere) sobre un altavoz cuya impedancia fuese $a^2 \times Z_s$.



Si además de ser ideal el transformador la válvula trabaja en la zona lineal, el estudio del paso final puede hacerse suponiendo que el altavoz tiene una impedancia de valor $a^2 \times Z_s$ y está alimentado por un generador cuya resistencia interna R_i sea igual a la de placa de la válvula final.

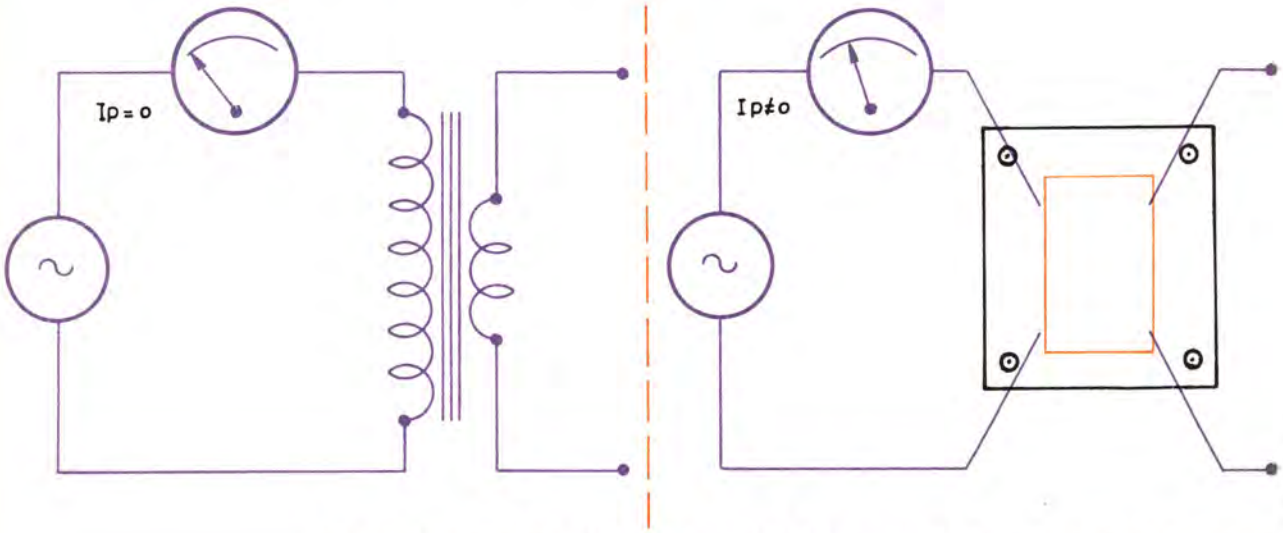
EL TRANSFORMADOR REAL

Las cosas no son tan simples en la realidad. El comportamiento de un transformador real difiere del ideal por causas diversas. Analizamos a continuación las más importantes:

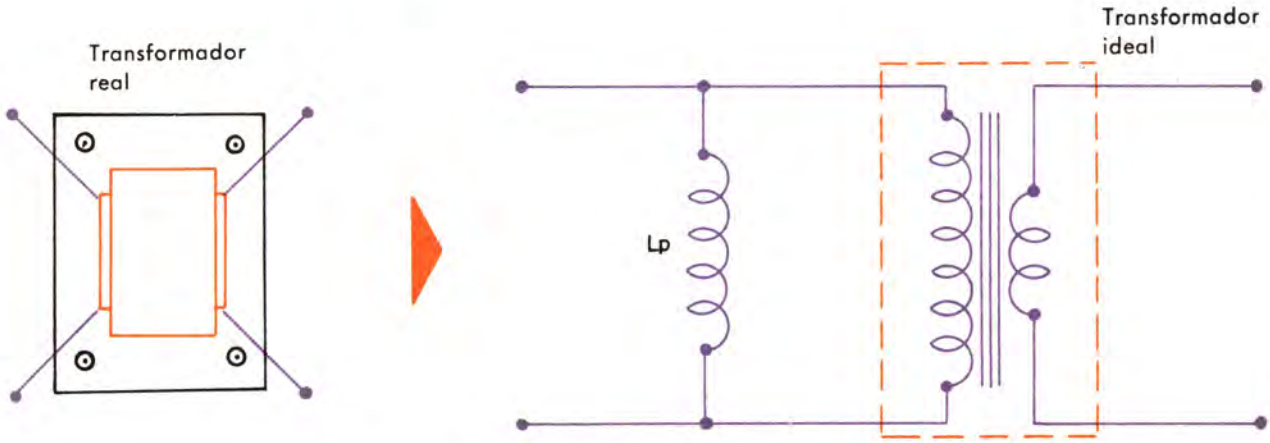
1. La inductancia del primario

Las primera diferencia que se manifiesta entre el comportamiento de un transformador ideal y de uno real es que en este último la corriente del primario no es nula cuando el secundario está en circuito abierto.

Para comprobarlo basta con intercalar en el primario un miliamperímetro, el cual pondrá de manifiesto cómo, al desconectar la resistencia de carga del secundario, la intensidad del primario disminuye notablemente pero no llega a anularse. La razón es que la autoinducción del primario no es infinita —como se supone en el transformador ideal—, sino que simplemente tiene un valor más o menos grande que denominaremos L_p. Para que la autoinducción fuese infinita el número de espiras del devanado primario tendría que ser también infinito, lo que a todas luces es imposible.



En un transformador ideal la intensidad del primario es nula cuando el secundario está en vacío. En esas mismas condiciones un transformador real absorbe corriente en el primario. Esto indica que en un transformador real la impedancia del primario no es infinita.



A fin de tener en cuenta la circunstancia de que en un transformador real la impedancia del primario no es infinita sino que tiene un valor determinado (L_p), puede suponerse que el transformador real está constituido por un transformador ideal en paralelo con cuyo primario se halla una autoinducción de valor L_p.

Si ésta fuese la única diferencia entre el comportamiento de un transformador real y uno ideal, el estudio del primero sería todavía fácil. *Bastaría con suponer que el transformador real está constituido por un transformador ideal y que en paralelo con el primario está conectada una autoinducción de valor* L_p.

Este conjunto, en efecto, tendría la propiedad de que cuando se desconecta la resistencia del secundario la corriente absorbida del generador es la misma que la absorbida por el transformador real.

Este circuito equivalente del transformador real explica, además, por qué disminuye la respuesta de un transformador al disminuir la frecuencia.

En efecto para una señal de frecuencia f la impedancia de entrada del transformador será

$$Z_p = 2\pi \times f \times L_p,$$

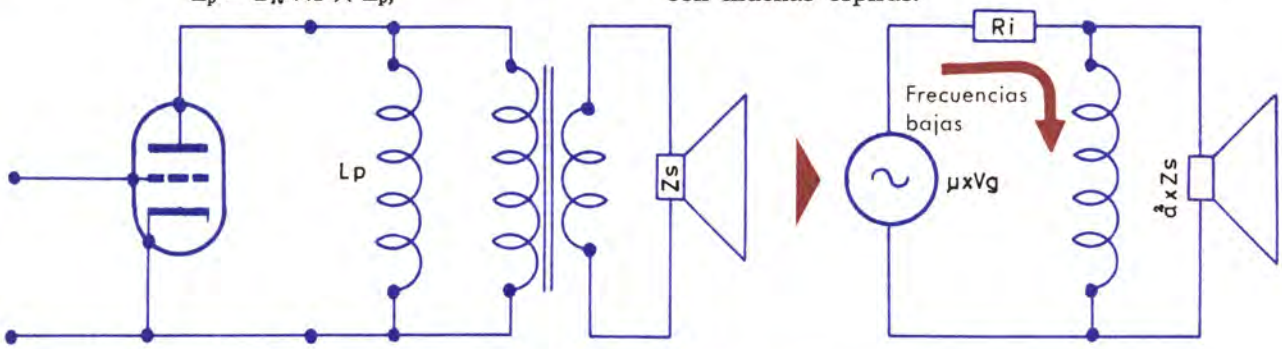
que como se ve disminuye el disminuir la frecuencia.

Para frecuencias muy bajas la impedancia del primario representa prácticamente un cortocircuito en comparación con la resistencia interna de la válvula de salida; en consecuencia casi toda la tensión disponible ($\mu \times V_g$) es absorbida por R_i y sólo una fracción muy pequeña es aplicada al transformador.

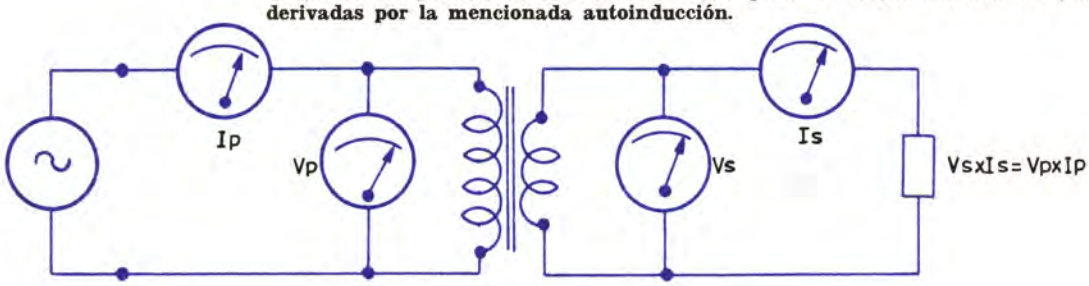
Resumiendo:

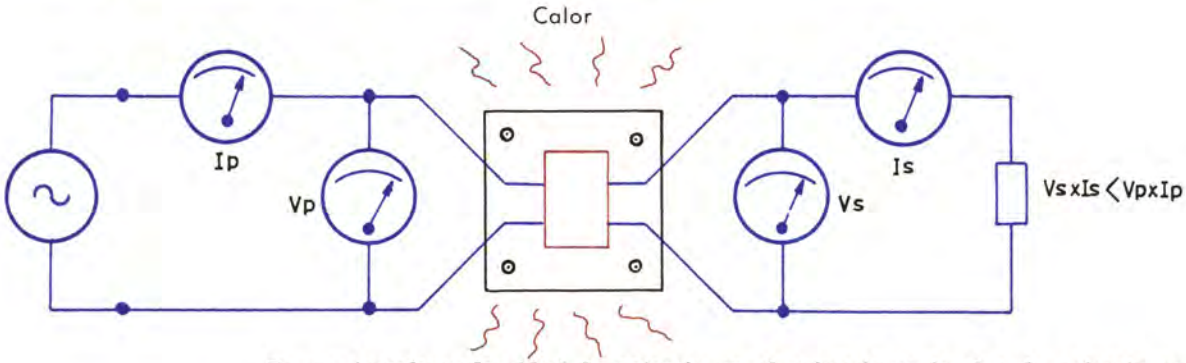
El valor de la autoinducción del primario determina el límite de respuesta de un transformador para las bajas frecuencias; y para conseguir un límite inferior lo más bajo posible conviene que la autoinducción sea lo más elevada posible.

Puesto que la autoinducción aumenta al aumentar el número de espiras, es conveniente *en principio* que los devanados estén constituidos con muchas espiras.



A causa de no ser infinita la autoinducción del primario de un transformador real, la potencia aplicada al altavoz disminuye para las bajas frecuencias pues éstas son derivadas por la mencionada autoinducción.





En un transformador ideal la potencia en el primario es igual a la potencia en el secundario. En un transformador real esta última es menor y la diferencia se disipa en forma de calor en el propio transformador.

2. Pérdidas en el transformador

Si medimos de un transformador en funcionamiento la tensión e intensidad en el primario (V_p e I_p) y la tensión e intensidad en el secundario (V_s e I_s), podremos comprobar que el producto $V_p \times I_p$ no es igual al producto $V_s \times I_s$, sino que este último es una fracción del primero.

En otras palabras, sólo una parte de la potencia que el generador suministra al primario es devuelta por el transformador en el secundario. La diferencia se disipa por el transformador en forma de calor, como puede apreciarse por la elevación de temperatura que experimenta durante el funcionamiento.

En un transformador de salida puede alcanzarse como máximo rendimientos del 80 %, lo que significa que si las válvulas de salida son capaces, por ejemplo, de proporcionar 10 vatios al transformador, éste entregará solamente 8 vatios al altavoz.

Las causas de esa pérdida en forma de calor son principalmente dos:

1. La resistencia del hilo que constituye los arrollamientos.
2. Las corrientes parásitas inducidas en el núcleo.

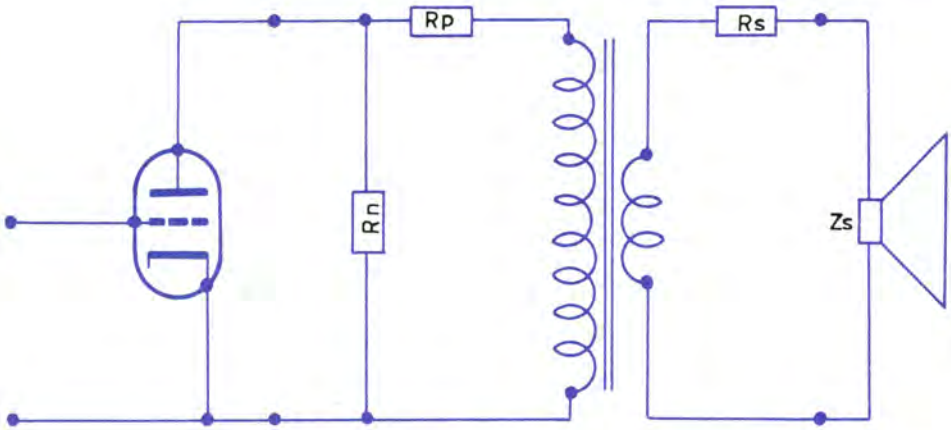
Para reducir las corrientes parásitas en el núcleo éste no es macizo, sino que está constituido por una serie de láminas. En los transformadores para Hi-Fi las láminas son más delgadas que en los transformadores corrientes para minimizar todavía más el efecto de las mencionadas corrientes parásitas.

La resistencia de los arrollamientos podría reducirse bobinando los devanados con pocas espiras e hilo grueso; pero ya sabemos que esto tendría el inconveniente de reducir la autoinducción del primario.

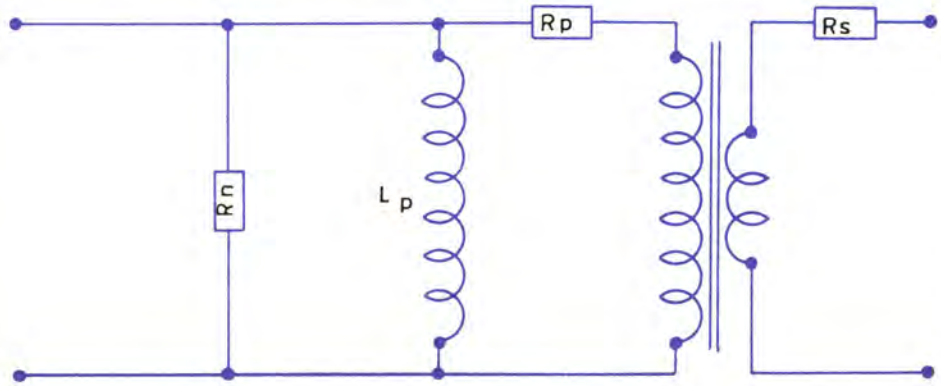
En la práctica es necesario aceptar una solución de compromiso entre las tendencias de bobinar con pocas espiras, para obtener baja resistencia, y bobinar con muchas espiras para obtener una elevada autoinducción en el primario.

A pesar de las pérdidas, el comportamiento del transformador de salida puede estudiarse suponiendo que es un transformador ideal al cual se conecta en paralelo con el primario una resistencia que disipe una cantidad de energía igual a la que disipa el propio transformador real.

Teniendo en cuenta, pues, la pérdida y la autoinducción del primario, un transformador real puede ser considerado como un transformador ideal en paralelo con cuyo primario existe una resistencia y una autoinducción.



Las pérdidas en un transformador real son debidas a la resistencia de los devanados, primario y secundario (R_p y R_s) y a las corrientes parásitas que se originan en el núcleo. Estas últimas se pueden tener en cuenta suponiendo que en paralelo con el primario está conectada una resistencia R_n que disipa una potencia igual a las pérdidas en el núcleo.



Este sería el esquema equivalente de un transformador real teniendo en cuenta las pérdidas y el valor de la autoinducción del primario.

3. Las capacidades parásitas y la autoinducción de dispersión

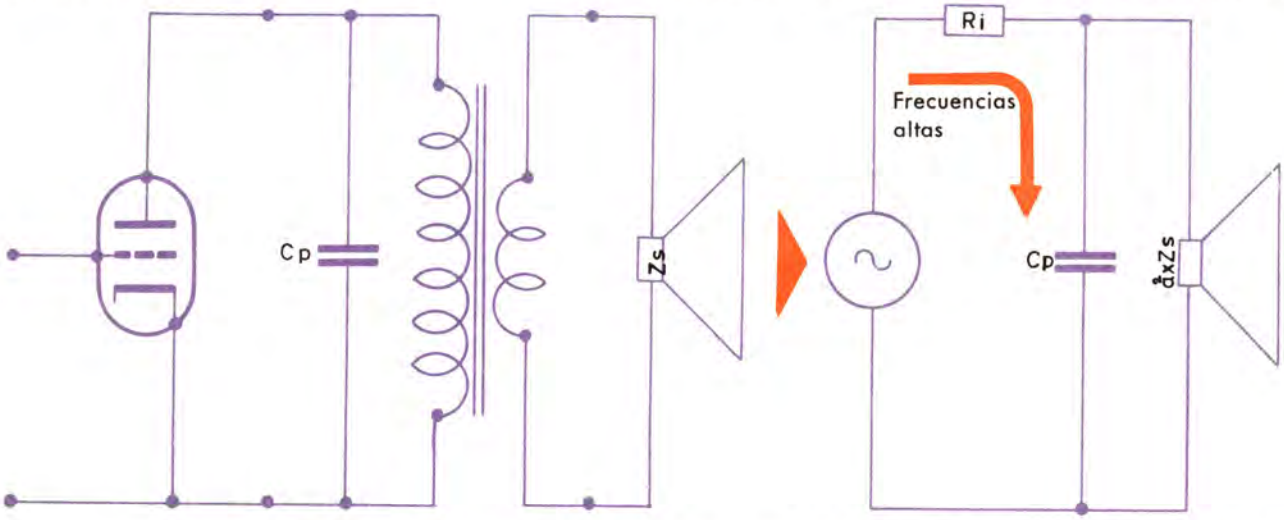
Según se ha indicado, la autoinducción del primario es la causa de que la respuesta de un transformador tenga un límite para las frecuencias bajas. Por otra parte, es un hecho conocido que el transformador tiene asimismo un límite en su respuesta para frecuencias altas. Las causas en este caso son las capacidades parásitas y las autoinducciones de dispersión.

Estas dos cuestiones fueron ya tratadas en parte en la lección 23; pero aquí vamos a detallar un poco más.

Hablemos en primer lugar de las capacidades parásitas.

Cada espira del primario está separada de las contiguas por un delgado dieléctrico, el barniz aislante que cubre el hilo.

Cada espira ofrece, pues, con respecto a las contiguas una pequeña capacidad; y el efecto conjunto para todas las espiras se traduce en que el devanado presenta no sólo cierta autoinducción,



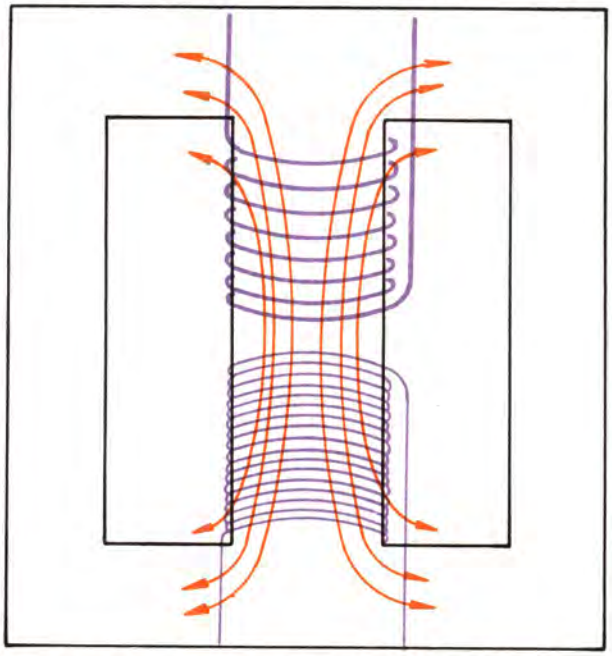
La capacidad parásita del primario (C_p) deriva las frecuencias altas reduciendo la respuesta del paso de salida en el extremo superior de la gama.

sino también cierta capacidad que llamamos *capacidad parásita* porque es un resultado no deseado; pero que irremediablemente se presenta, por construcción, al realizar un devanado.

Es fácil comprender por qué esta capacidad parásita pone un límite a la frecuencia de funcionamiento del transformador.

Según el circuito equivalente del paso de salida, la tensión $\mu \times V_g$ generada por la válvula se reparte entre la resistencia interna R_i y la impedancia del primario del transformador. Ahora bien, como esa impedancia está derivada por la capacidad C_p, se hace menor a medida que aumente la frecuencia de funcionamiento, y para frecuencias suficientemente altas será prácticamente un cortocircuito en comparación con R_i.

Desde luego, también el secundario presenta la correspondiente capacidad parásita pero debido al número mucho menor de espiras esa capacidad es mucho menor. Por otra parte, queda en paralelo con la impedancia del altavoz, de valor muy bajo, por lo que su efecto es prácticamente despreciable para frecuencias de la gama de audio.



Por buena que sea la calidad del núcleo de un transformador no es capaz de impedir que parte de las líneas de fuerza se dispersen sin atravesar la totalidad de las espiras de ambos devanados. Ello da origen a las autoinducciones de dispersión.

Veamos ahora lo que se entiende por *inductancia de dispersión.*

Las razones por que los devanados de un transformador se efectúan sobre un núcleo de hierro son básicamente dos. Una es que así se consiguen elevadas autoinducciones en los devanados con cantidades de espiras no excesivamente grandes. La segunda razón es que de esa forma se canalizan las líneas de fuerza del campo magnético para procurar que todas atraviesen íntegramente los dos devanados.

De no existir el núcleo, las líneas se dispersarían y sólo una parte atravesaría ambos devanados.

Lo cierto es, sin embargo, que a pesar del núcleo no todas las líneas de fuerza atraviesan todas las espiras del primario y secundario. Por muy buena que sea la calidad del núcleo, no es capaz de impedir por completo la dispersión de las líneas de fuerza, algunas de las cuales sólo atravesarán una fracción del número total de espiras de los devanados.

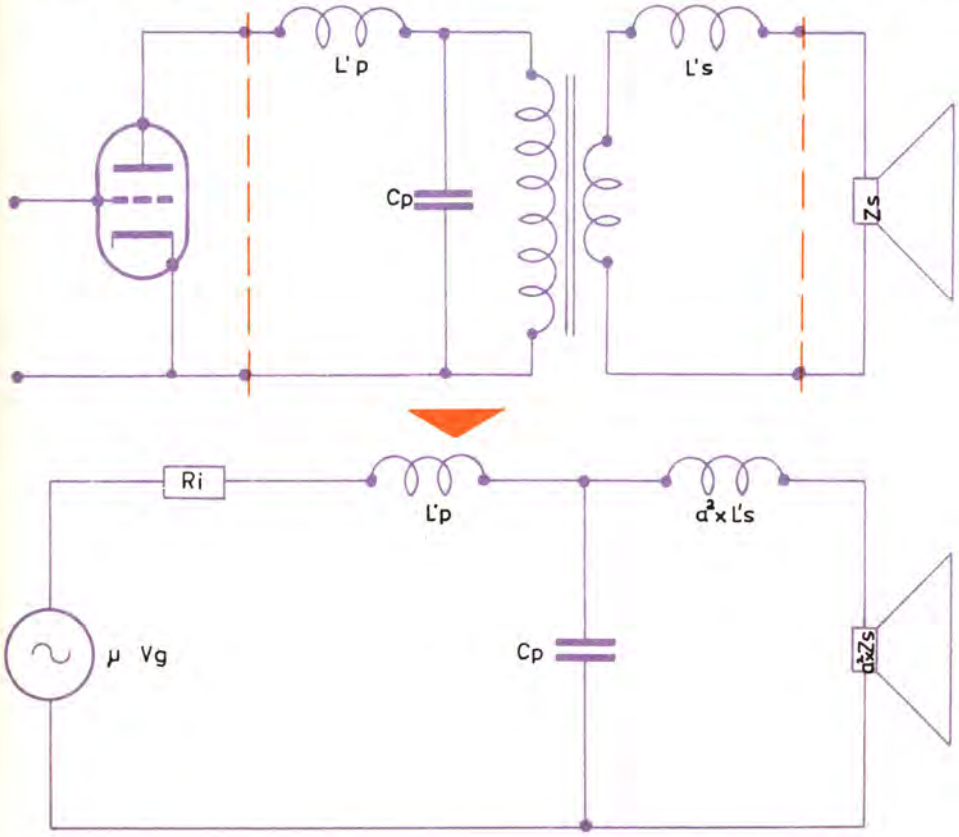
Para tener en cuenta esta circunstancia se puede suponer que parte de las espiras del primario y del secundario no están acopladas por el núcleo, sino que constituyen sendas autoinducciones en serie con los respectivos devanados. Esas autoinducciones reciben el nombre de *autoinducciones de dispersión.*

Su influencia sobre el funcionamiento del transformador se comprende fácilmente.

Por una parte, la inductancia de dispersión del primario (L'_p) queda en serie con la resistencia interna de la válvula y, por tanto, acentúa todavía más el efecto de *shunt* de la capacidad parásita C_p. En cuanto a la autoinducción de dispersión del secundario (L'_s), como puede verse, queda en serie con la carga del secundario y absorbe por tanto una fracción de la tensión inducida en él. Esa fracción es muy pequeña para las frecuencias bajas, pero puede hacerse muy importante en el extremo superior de la gama de audio, de manera que contribuye también a limitar la respuesta del transformador para frecuencias altas.

Para extender la respuesta del transformador en el extremo de altas frecuencias conviene, evidentemente, reducir tanto la capacidad parásita de los devanados como la inductancia de dispersión.

Esas son dos razones que aconsejan reducir el número de espiras de los devanados; pero esta solución, al reducir la autoinducción de los devanados, reducirá también la respuesta para las frecuencias bajas. Es de advertir, sin embargo, que puede conseguirse el mismo efecto sin necesidad de reducir las espiras, adoptando en la construcción de los devanados una disposición especial que consiste en bobinar alternativamente las capas del



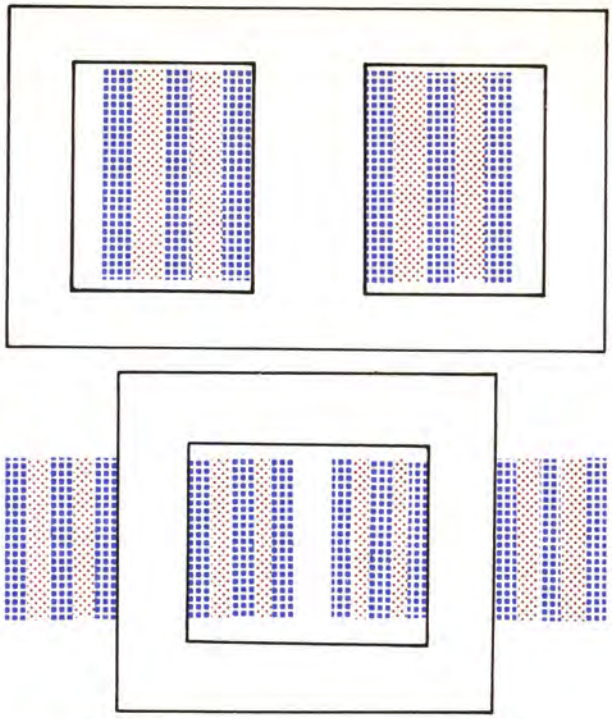
He aquí el esquema equivalente de un transformador real teniendo en cuenta la capacidad parásita del primario y las autoinducciones de dispersión, L'_p, C_p y L'_s constituyen un filtro que impide que lleguen las frecuencias altas al altavoz.

primario y del secundario de manera que queden interpuestas.

Con ello se consigue mejor acoplamiento entre los devanados, lo que reduce la inductancia de dispersión; y también menor capacidad parásita C_p por quedar las capas del primario más separadas y apantalladas por las del secundario.

4. La saturación del núcleo

Sabido es, también, que —a diferencia de un transformador ideal— un transformador real no puede transferir cualquier potencia, sino que tiene un límite impuesto por la circunstancia de que cuando el flujo magnético satura el núcleo se producen grandes distorsiones. Esta cuestión se trató con amplitud suficiente en la lección 33; aquí nos limitaremos a recordar que la solución obligada para transferir potencias elevadas es utilizar núcleos de gran sección.



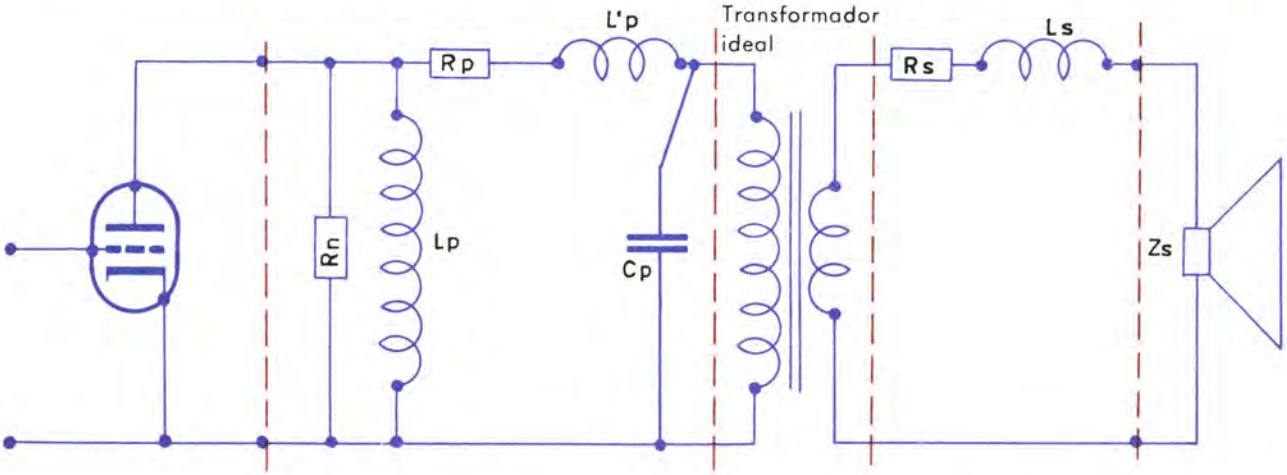
Transformadores de salida bobinados según el sistema de devanados interpuestos.

CIRCUITO EQUIVALENTE Y CURVA DE RESPUESTA DE UN TRANSFOMADOR REAL

Hemos analizado las principales diferencias entre el funcionamiento de un transformador real y el de otro ideal, y en cada caso particular hemos indicado cómo puede explicarse el comportamiento del transformador real suponiendo que es un transformador ideal con algunos elementos parásitos de capacidad, resistencia o autoinducción conectados de modo permanente a sus devanados.

Teniendo en cuenta las diferencias indicadas, el funcionamiento de un transformador real es equivalente al que tendría el circuito de la figura inmediata, constituido por un transformador ideal al que se han añadido la autoinducción y la capacidad parásita del primario (L_p y C_p), las autoinducciones de dispersión (L'_p y L'_s), la resistencia de los devanados (R_p y R_s) y una resistencia R_n que representa las pérdidas en el núcleo.

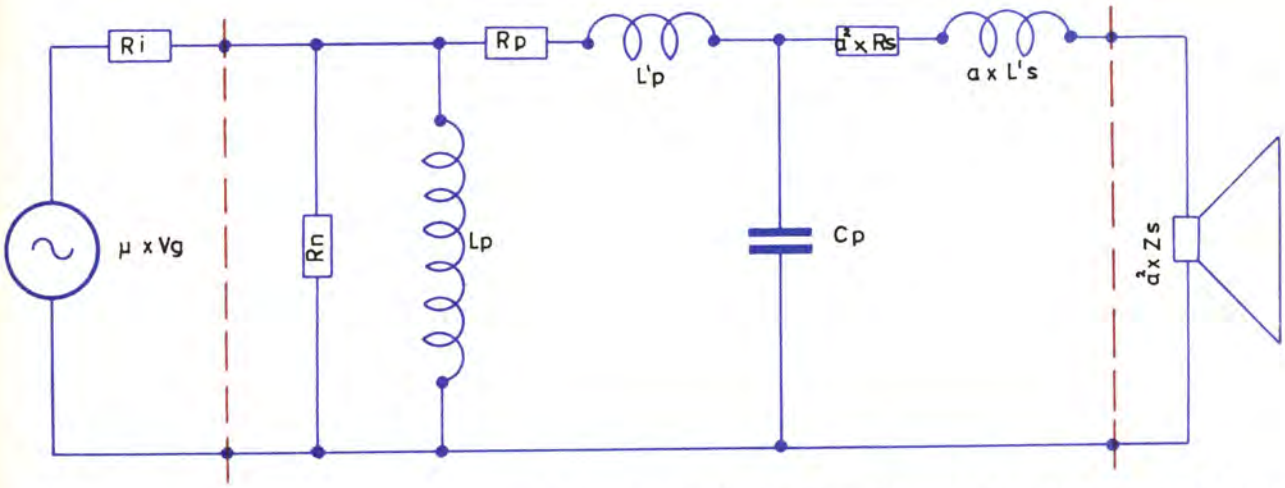
Teniendo en cuenta las propiedades del transformador ideal, ese circuito puede simplificarse «reflejando» en el primario *todo* lo conectado al



Esquema equivalente de un transformador de salida real teniendo en cuenta los elementos parásitos detallados en el texto.

secundario, que realmente no es sólo la impedancia Z_s del altavoz sino también la resistencia y la autoinducción de dispersión del secundario.

Es interesante recordar que si el transformador fuese perfecto la impedancia reflejada del altavoz quedaría conectada directamente al circuito equivalente de la válvula; y que, en cambio, debido a las imperfecciones de los transformadores reales queda intercalada entre ambos una red de resistencia-capacidad y autoinducción. Esa red determina la curva de respuesta del transformador, cuyo aspecto general se indica en el gráfico.



Esquema equivalente del transformador de salida suponiendo reflejados en el primario todos los elementos conectados en el secundario.

Es fácil comprender que la curva de respuesta ha de ser precisamente de esa forma, si se tiene en cuenta que C_p, L'_p y $a^2 \times L_s'$ son magnitudes pequeñas y en cambio L_p es grande.

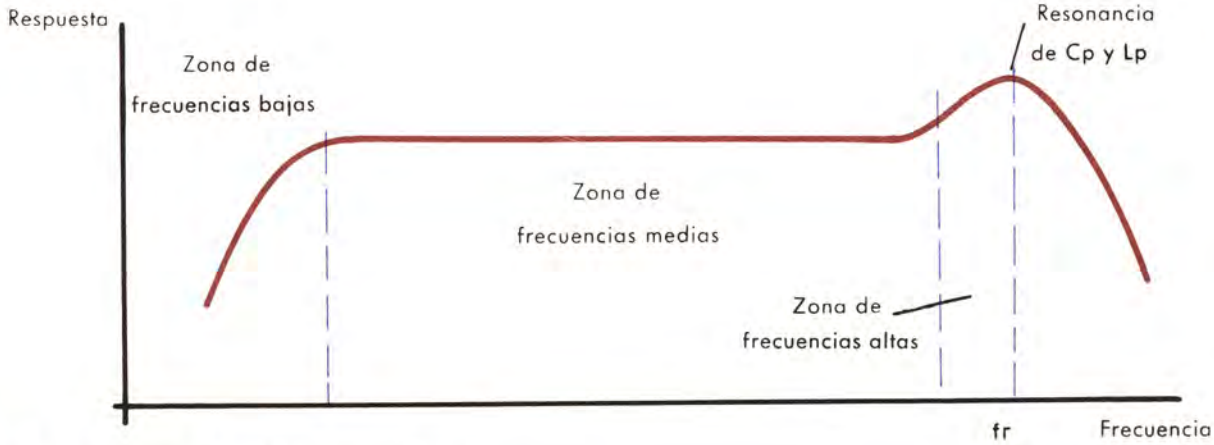
Existe una zona, que hemos denominado de frecuencias medias, en que la respuesta es plana.

Para esas frecuencias la impedancia de L_p y de C_p es tan grande que pueden considerarse como circuitos abiertos; es decir, no tienen influencia en el funcionamiento. La impedancia de L'_p y $a^2 \times L'_s$ es en cambio tan pequeña que pueden considerarse como cortocircuitos.

Teniendo en cuenta esos puntos, el circuito equivalente queda reducido en la zona de frecuencias medias a la red formada por las resistencias R_n, R_p y $a^2 \times R_s$, que simplemente provocan una pérdida de potencia independiente de la frecuencia.

Existe también una zona, que llamamos de frecuencias bajas, en que cae rápidamente la respuesta del transformador.

Para estas frecuencias la influencia de C_p, de L'_p y de $a^2 \times L'_s$ es aún más insignificante que en la zona de frecuencias medias; pero la impedan-



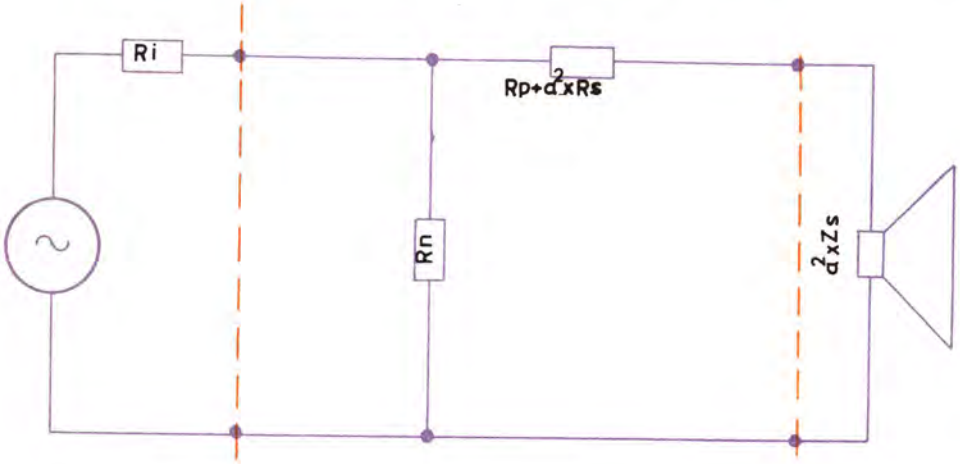
Curva de respuesta de un transformador real.

cia de L_p disminuye rápidamente con la frecuencia y cortocircuita la señal.

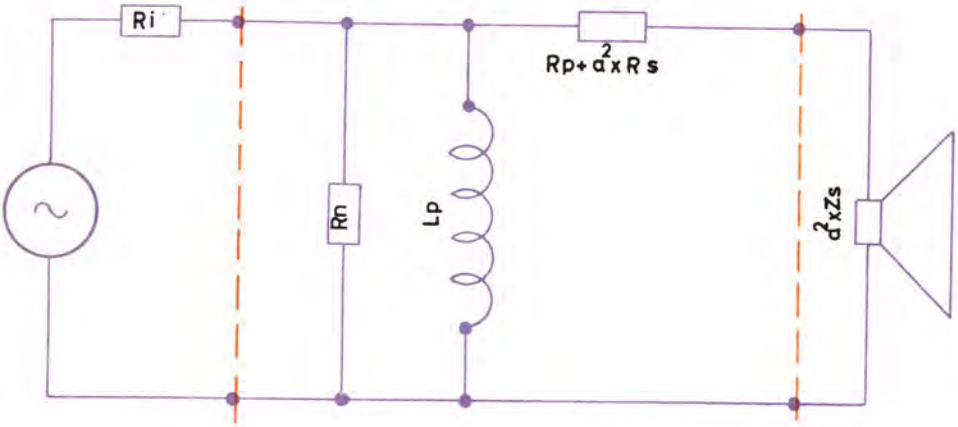
En la zona de frecuencias altas se aprecia que la respuesta cae también rápidamente con la frecuencia, si bien antes experimenta un aumento con respecto del nivel correspondiente a la zona de frecuencias medias.

La caída de la curva de respuesta se explica porque si bien la influencia de L_p es despreciable para estas frecuencias no lo es ni la de C_p ni la de L'_p y $a^2 \times L'_s$, que en conjunto constituyen un filtro que impide de manera eficaz que la señal llegue al altavoz.

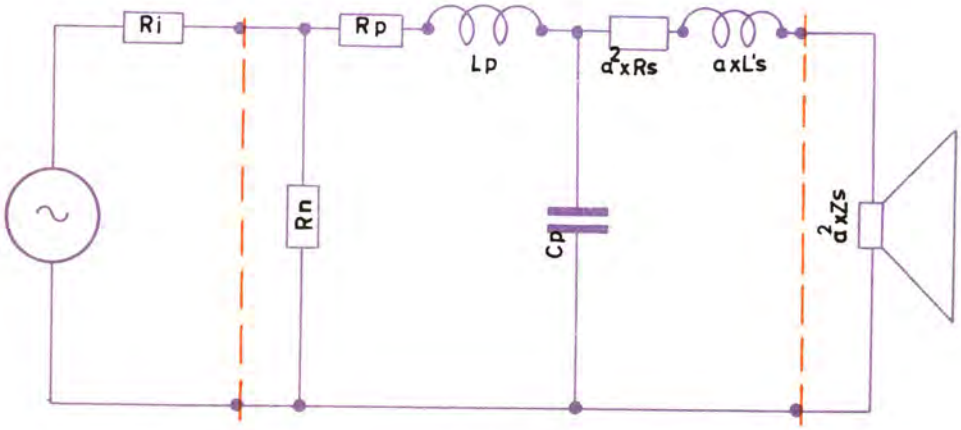
El aumento de respuesta que se observa para la frecuencia *fr* corresponde a la resonancia de la capacidad C_p con la autoinducción L_p.



Circuito equivalente del transformador de salida en la zona de frecuencias medias.



Circuito equivalente del transformador de salida en la zona de frecuencias bajas.



Circuito equivalente del transformador en la zona de frecuencias altas.

EL TRANSFORMADOR PARA HI-FI

Por supuesto, un transformador es tanto mejor cuanto más amplia sea la zona de frecuencias medias; es decir, la zona de respuesta plana.

La zona de respuesta plana de un transformador para Hi-Fi debiera extenderse entre 20 c/s y 20.000 c/s; de todas formas si esa exigencia se cumple entre 40 c/s y 16.000 c/s el transformador puede considerarse como muy bueno.

Por otra parte, dentro del nivel de potencias adecuado para Hi-Fi —es decir, hasta 10 ó 20 vatios— el transformador no debe presentar síntomas de saturación.

Para cumplir con estas exigencias un transformador ha de poseer las siguientes cualidades:

1. Elevada autoinducción de los devanados.
2. Baja capacidad parásita.
3. Baja inductancia de dispersión.
4. Baja resistencia de devanados.
5. Bajas pérdidas en el núcleo.
6. Núcleo de tamaño grande.

LAS VALVULAS DEL PASO DE SALIDA

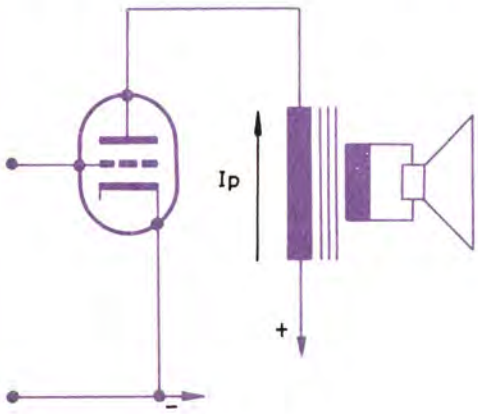
Hemos indicado con anterioridad que los pasos de salida equipados con una sola válvula no son, en líneas generales, adecuados a las necesidades de la alta fidelidad.

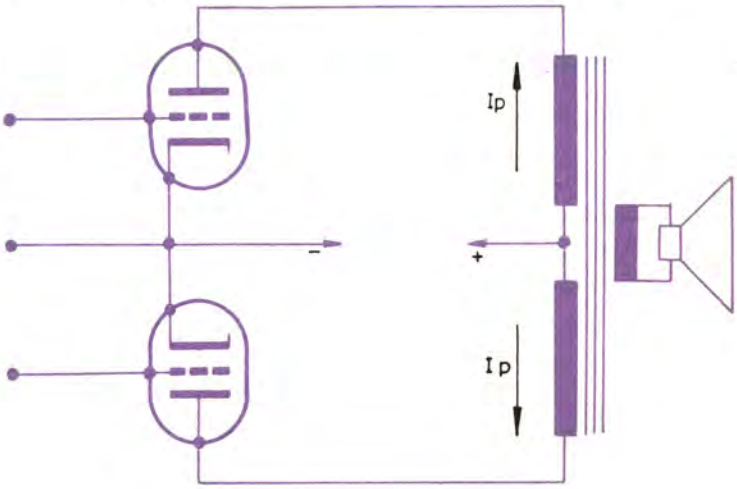
Las razones que hemos apuntado son que la potencia entregada es insuficiente y que la distorsión producida es excesiva.

La primera no es en realidad una razón fundamental, pues existen válvulas de elevada potencia de disipación y capaces por tanto de suministrar también una potencia elevada. La EL34, por ejemplo, cuya potencia de disipación de placa es de 25 vatios, puede suministrar al transformador de salida unos 12 vatios de potencia modulada.

Por otra parte, siempre queda la posibilidad de utilizar dos o más válvulas con los electrodos conectados en paralelo, con lo que el comportamiento del conjunto es, desde el punto de vista eléctrico, el mismo que el de una válvula cuya potencia de disipación sea la suma de la de las válvulas empleadas.

Así, conectando en paralelo dos EL84 (cuya potencia de disipación es 12 vatios) se obtiene





El montaje en contrafase ofrece la particularidad de que en ausencia de señal no existe flujo en el núcleo del transformador de salida. El peligro de saturación es por tanto menor.

el equivalente a una válvula de 24 vatios de potencia de disipación.

Los verdaderos inconvenientes de este tipo de pasos de salida estriban en un consumo de corriente demasiado grande y en que la distorsión provocada es excesiva. La EL34 suministra 12 vatios con una distorsión aproximada del 10 %, y un par de EL84 conectadas en paralelo suministran esa misma potencia también con el mismo grado de distorsión.

Sabemos, por otra parte, que la intensidad de placa, a causa del flujo que crea en el núcleo del transformador, contribuye en los pasos de salida simples a aumentar el peligro de saturación de aquél, tanto más cuanto mayor es el consumo de la válvula o válvulas de salida.

Los pasos en contrafase o *push-pull* tienen la ventaja de eliminar este riesgo, pues el flujo creado por la corriente de cada una de las dos válvulas tiene sentido contrario al creado por la otra; de manera que en ausencia de señal el flujo en el núcleo es en realidad nulo.

Esta sola circunstancia hace interesante este tipo de montaje; pero la ventaja principal del *push-pull* radica en la notable reducción del porcentaje de distorsión que se consigue. Así, por ejemplo, dos EL84 en paralelo pueden suministrar 10 vatios con una distorsión del 8 %, y en cambio para esa misma potencia la distorsión queda reducida al 2 % si las válvulas se montan en contrafase.

La menor distorsión que produce el montaje en contrafase se debe a su funcionamiento simétrico.

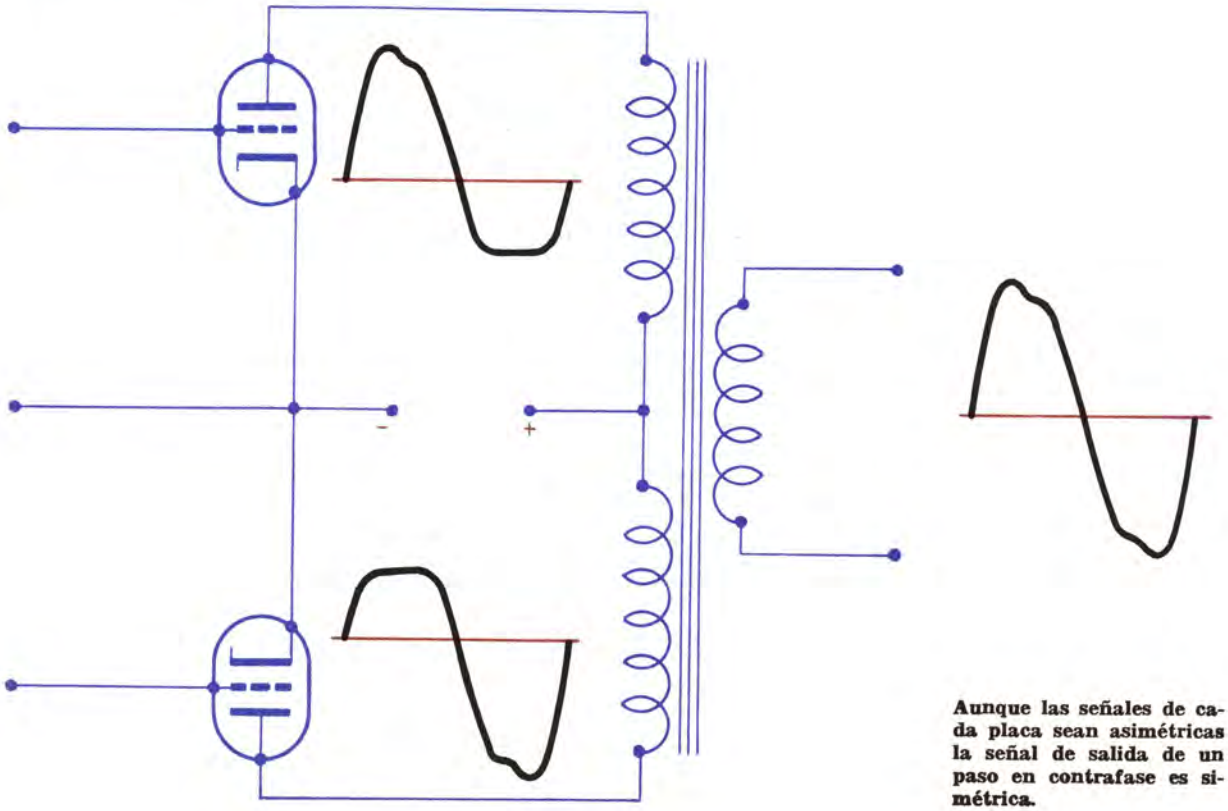
Vamos a aclarar esta idea.

Si en un paso de salida simple la amplitud de las señales es tan grande que la válvula trabaja en la zona no lineal de las características, la señal aparece distorsionada en la placa; y dado el aspecto de aquéllas, la distorsión es distinta según se consideren los picos positivos o negativos. La corriente de placa de una válvula es, pues, asimétrica cuando se produce distorsión.

Si consideramos en cambio un montaje en contrafase, aunque la corriente de placa de cada válvula está distorsionada de forma asimétrica, la señal que llega al altavoz es producto del efecto conjunto de las dos corrientes de placa.

De acuerdo con el funcionamiento del *push-pull*, la variación de flujo creada por el semiciclo positivo de la señal de una válvula, se suma a la variación de flujo creado por el semiciclo negativo de la otra, de manera que es el altavoz los semiciclos negativos y positivos tienen igual forma.

Así, pues, en el *push-pull*, tal como habíamos indicado, la señal de salida está distorsionada simétricamente.



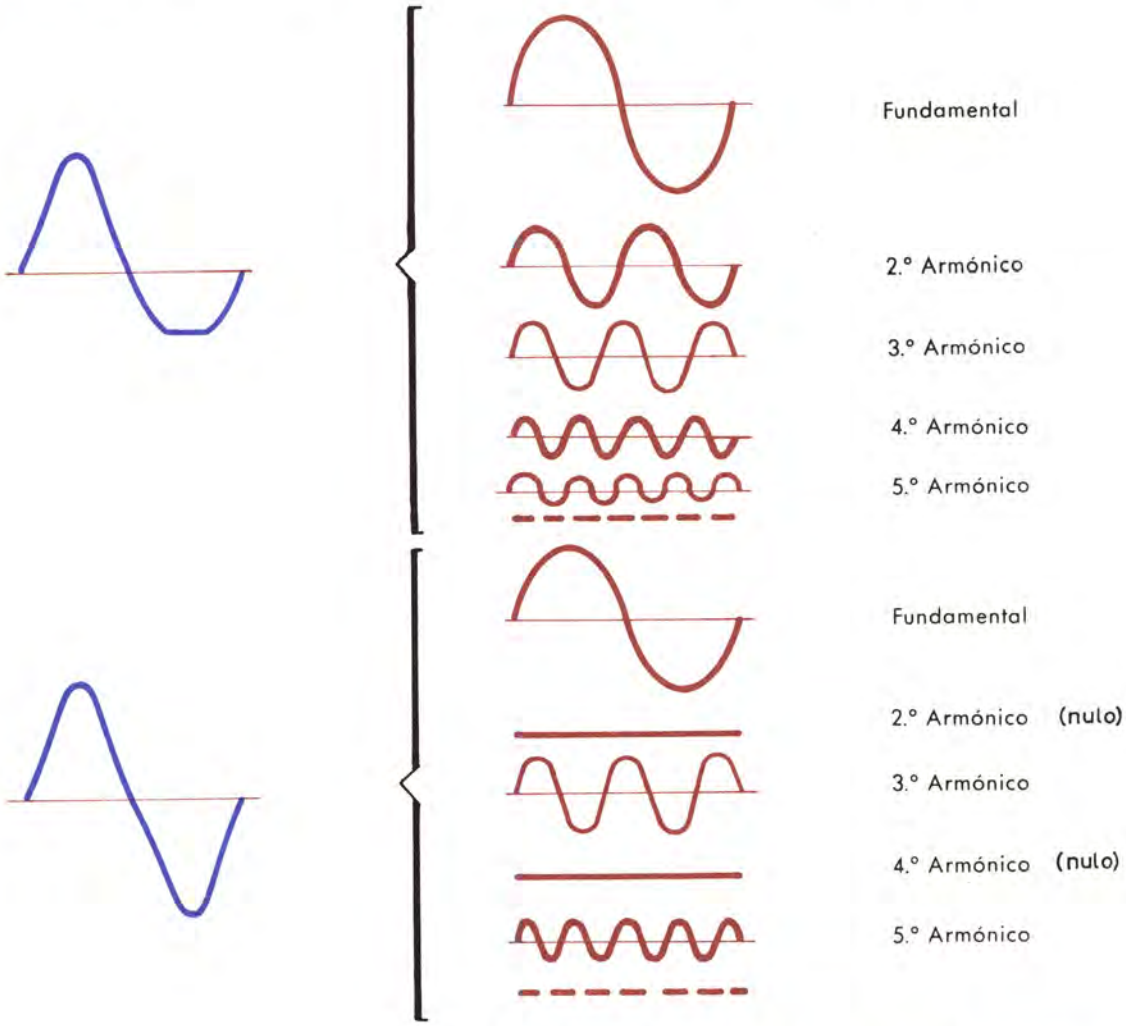
Aunque las señales de cada placa sean asimétricas la señal de salida de un paso en contrafase es simétrica.

Pues bien: de esa simetría que presentan las señales suministradas por un *push-pull* resulta una reducción de la distorsión.

Sabemos, en efecto, que las deformaciones o distorsiones de una señal senoidal pueden medirse analizando el contenido de armónicos en la señal deformada. Cuando mayor sea la amplitud de los diversos armónicos en relación con la amplitud de la fundamental, mayor es la distorsión. Pues bien, se puede demostrar que si una señal es asimétrica (tal como la que genera una sola válvula) esa señal consta de la fundamental y de los armónicos segundo, tercero, cuarto, quinto, sexto, séptimo, etc. En cambio, si la señal es simétrica los únicos armónicos que acompañan a la fundamental son el tercero, quinto, séptimo, etcétera; es decir, que en las señales simétricas no existen armónicos pares. Resulta, pues, que el montaje *push-pull* al simetrizar las señales *elimina los armónicos pares generados por cada una de las válvulas*, y de ahí la notable reducción de distorsión que con él se obtiene.

Otra importante ventaja del montaje *push-pull* es que cualquier señal que llegue *en fase* a las dos mitades del primario del transformador no tiene efecto alguno sobre el altavoz. El rizado de la tensión de alimentación tiene esa característica, y por ello un paso en contrafase introduce muchos menos zumbidos que en un paso de salida simple.

A esas ventajas el *push-pull* opone el pequeño inconveniente de precisar, para su excitación, dos señales idénticas opuestas en fase en lugar de una sola señal que requiere el paso simple. El balance de ventajas e inconvenientes es, de todas formas, francamente positivo; y por eso los pasos montados en contrafase son, casi sin excepción, los que se emplean en alta fidelidad.



Una señal asimétrica como la indicada en la parte superior tiene armónicos de todos los órdenes; en cambio, en la señal simétrica de la parte inferior los armónicos pares son nulos.

¿TRIODOS O PENTODOS? ELECCION DE LA RECTA DE CARGA

No solamente el tipo de montaje, sino también el tipo de válvulas empleado tiene suma importancia en las características del paso final.

Como válvulas de potencia pueden utilizarse triodos o pentodos; y también tetrodos de haces dirigidos, cuyo funcionamiento es similar al de los pentodos. Cada uno de estos tipos de válvulas tiene sus particulares ventajas e inconvenientes.

En líneas generales, los requisitos que deben satisfacer las válvulas del paso final pueden cifrarse en que sean capaces de entregar una potencia elevada, con muy poca distorsión y con gran sensibilidad de potencia.

Pues bien, en condiciones generales, para suministrar una potencia determinada, un paso final en *push-pull* produce menos distorsión si está equipado con triodos que si lo está con pentodos; pero en cambio la sensibilidad de potencia es menor en el primer caso que en el segundo.

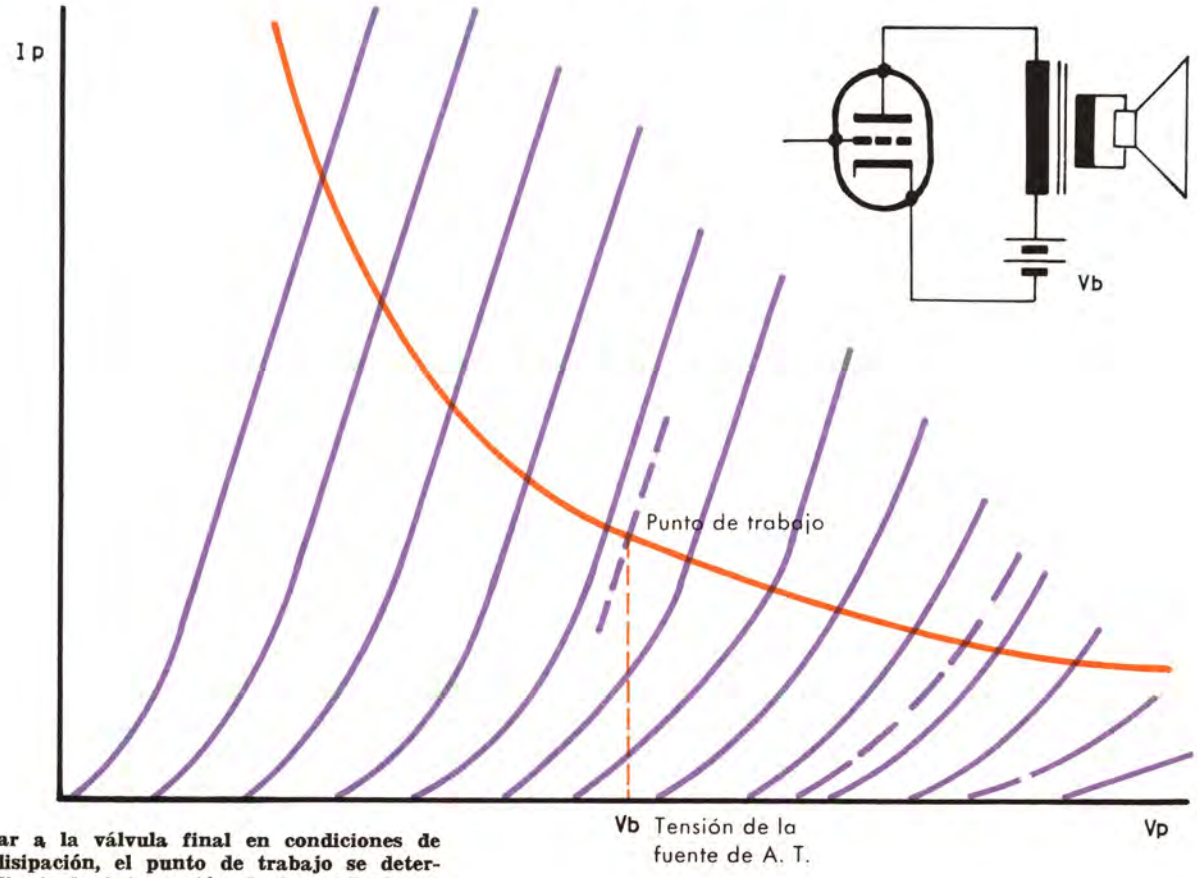
Resulta, pues, que cada solución tiene sus inconvenientes y sus ventajas, por lo que antes de tomar una decisión conviene analizar la cuestión con detalle.

Para obtener la máxima potencia de un paso final, las válvulas se sitúan en condiciones de máxima disipación.

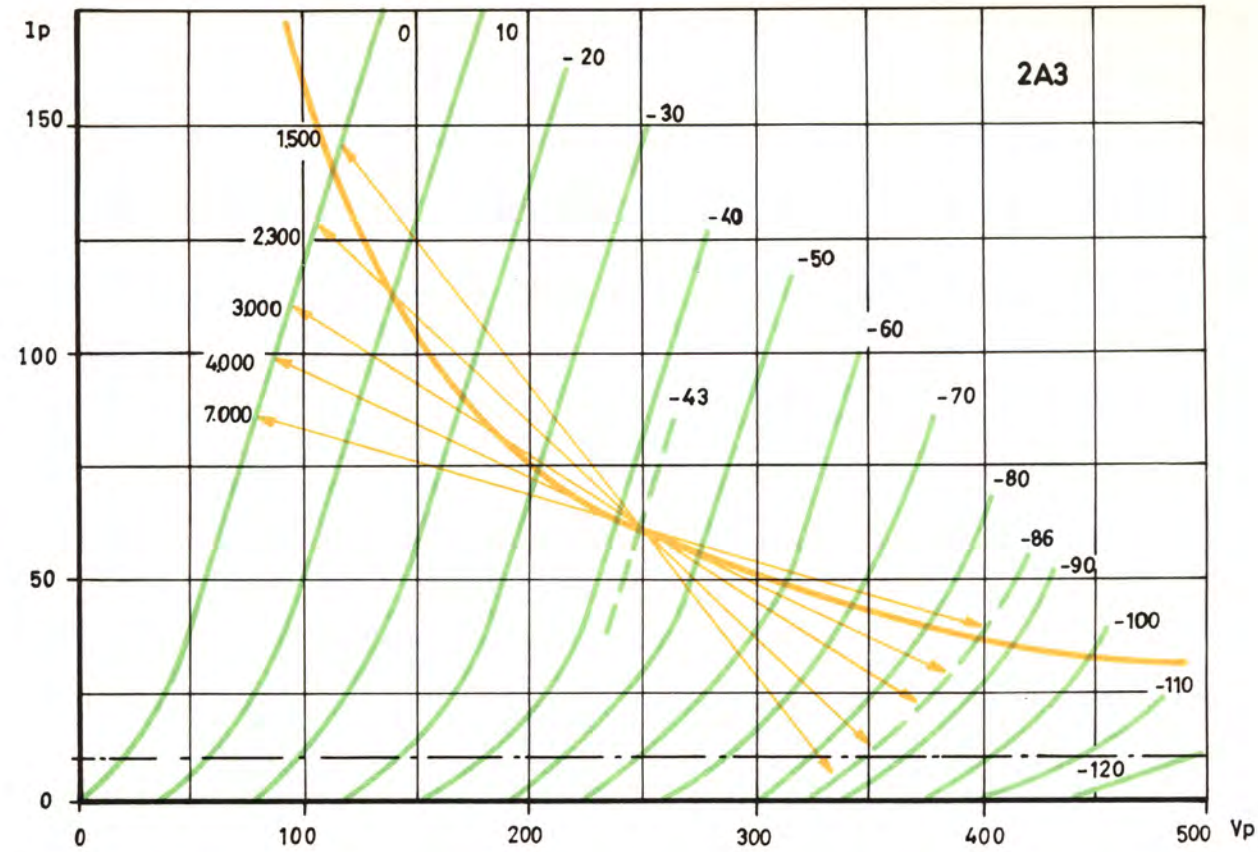
El punto de trabajo se determina, por tanto, sobre las características V_p-I_p de la válvula mediante la intersección de la curva de máxima disipación de placa con una recta vertical al eje de tensiones que pase por el punto V_b correspondiente a la tensión de alimentación disponible.

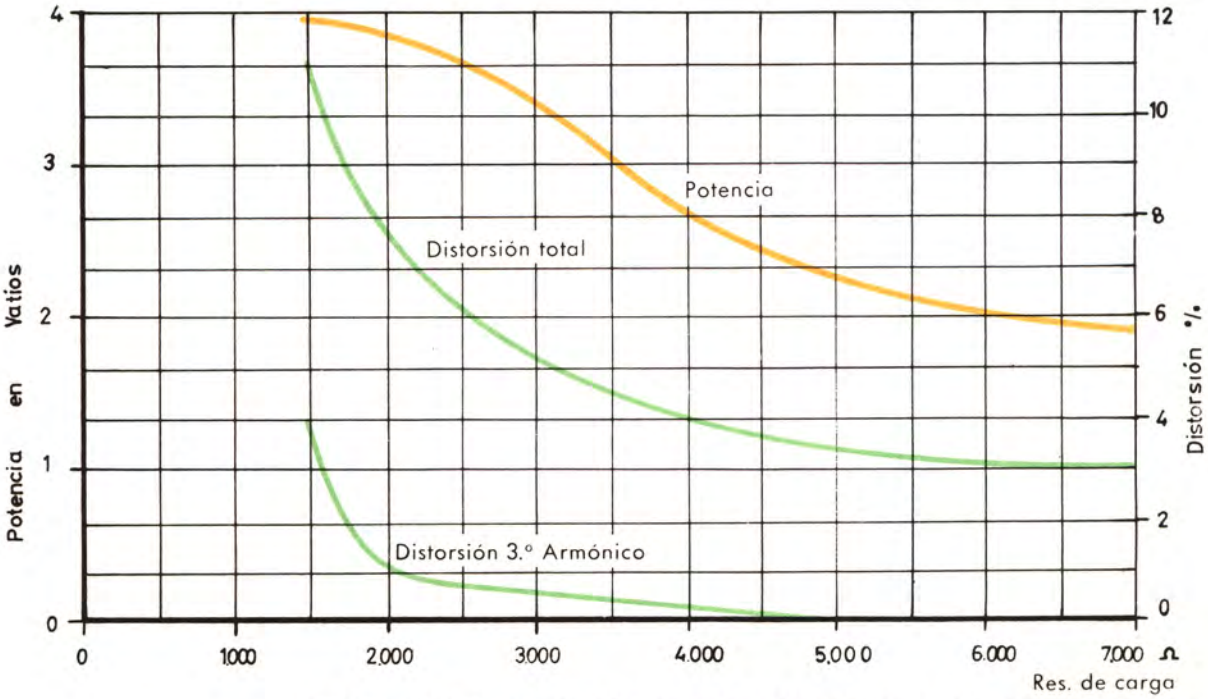
Una vez elegido el punto de trabajo, la sensibilidad de potencia del paso final y la distorsión de las señales dependen de la recta dinámica de carga elegida. Si se pretende obtener la máxima sensibilidad de potencia, es preciso elegir como recta de carga la que corresponde a una resistencia de valor igual a la resistencia interna de la válvula.

En la práctica esta condición no puede satisfacerse con pentodos ni con triodos, pues la distorsión generada es excesiva. Debe entonces ensayarse diversas rectas cargas y analizar para cada una de ellas la potencia y la distorsión que produce la válvula para la máxima tensión de entrada permisible.



Para situar a la válvula final en condiciones de máxima disipación, el punto de trabajo se determina mediante la intersección de la vertical que pasa por V_b y la curva de máxima disipación.





En los gráficos se muestran los resultados obtenidos ensayando diversas rectas de carga para el triodo 2A3 suponiendo una tensión constante de entrada de 86 V_{pp}.
La potencia y distorsión disminuyen al aumentar la recta de carga.
No se ha dibujado la curva de distorsión correspondiente al segundo armónico, pues casi coincide con la de distorsión total.

Los gráficos ilustran los resultados de este análisis para el triodo de potencia 2A3 y para el tetrodo de haces dirigido 6L6, cuyo funcionamiento, como ya hemos dicho, es equiparable al de un pentodo.

En los gráficos correspondientes al triodo 2A3 se ha indicado la potencia de salida obtenida y la distorsión correspondiente, para rectas de carga comprendidas entre 1500 Ω y 7000 Ω, cuando la tensión aplicada a la rejilla es de 86 V_{pp}, que es la máxima que puede aplicarse sin que la rejilla se haga positiva.

Casi toda la distorsión se debe al segundo armónico. En el gráfico queda indicada la contribución del tercer armónico; la contribución de los armónicos de orden superior puede considerarse inapreciable.

El mismo significado tienen los gráficos correspondientes al tetrodo 6L6, en que la tensión de entrada admisible es de 27 V_{pp} y la variación de la recta de carga se ha ensayado entre 1500 Ω y 4500 Ω.

En el caso del triodo puede apreciarse que a medida que se aumenta la resistencia de carga disminuye la distorsión, pero disminuye también la potencia de salida.

La elección de la recta de carga es, en este caso, una solución de compromiso entre la potencia deseable y la distorsión consiguiente.

Si, por ejemplo, se puede tolerar una distorsión del 5 %, la recta de carga elegida sería la correspondiente a 3500 Ω y la potencia disponible de 3 vatios. Si la distorsión tolerable es menor se elegirá una resistencia de carga mayor; pero con ello también será menor la potencia disponible.

En el caso del tetrodo la elección es más fácil, pues, como puede apreciarse, existe una resistencia de carga para la cual la distorsión es mínima. Para la 6L6 esa resistencia es de 3500 Ω en las condiciones de trabajo indicadas. Con ella la potencia disponible es de 7 vatios y la distorsión correspondiente del 7 %.

Téngase en cuenta que estos datos se refieren a la distorsión que producirían esas válvulas trabajando solas en un paso de salida simple; pero si se emplean aparatos con un paso en *push-pull* las condiciones mejoran notablemente debido a que ese montaje suprime la distorsión debida al segundo armónico.

Así, por ejemplo, un *push-pull* de dos válvulas 2A3 trabajando en las mismas condiciones que antes —es decir, sobre una recta de carga de 3500 Ω— proporciona una potencia de 6 vatios con una distorsión de sólo el 0,2 % debida casi exclusivamente al tercer armónico.

En el caso de utilizar dos tetrodos 6L6 en *push-pull* lo primero que se echa de ver es que no conviene seguir utilizando la resistencia de carga que considerábamos óptima en el caso del paso simple, porque con esa resistencia (3500 Ω) la casi totalidad de la distorsión es originada por el tercer armónico y el montaje en *push-pull* no mejora, por tanto, de manera apreciable el resultado.

El gráfico indica, en efecto, que el conjunto proporciona una potencia de 14 vatios (7 vatios cada válvula) con una distorsión de 6'5 % aproximadamente.

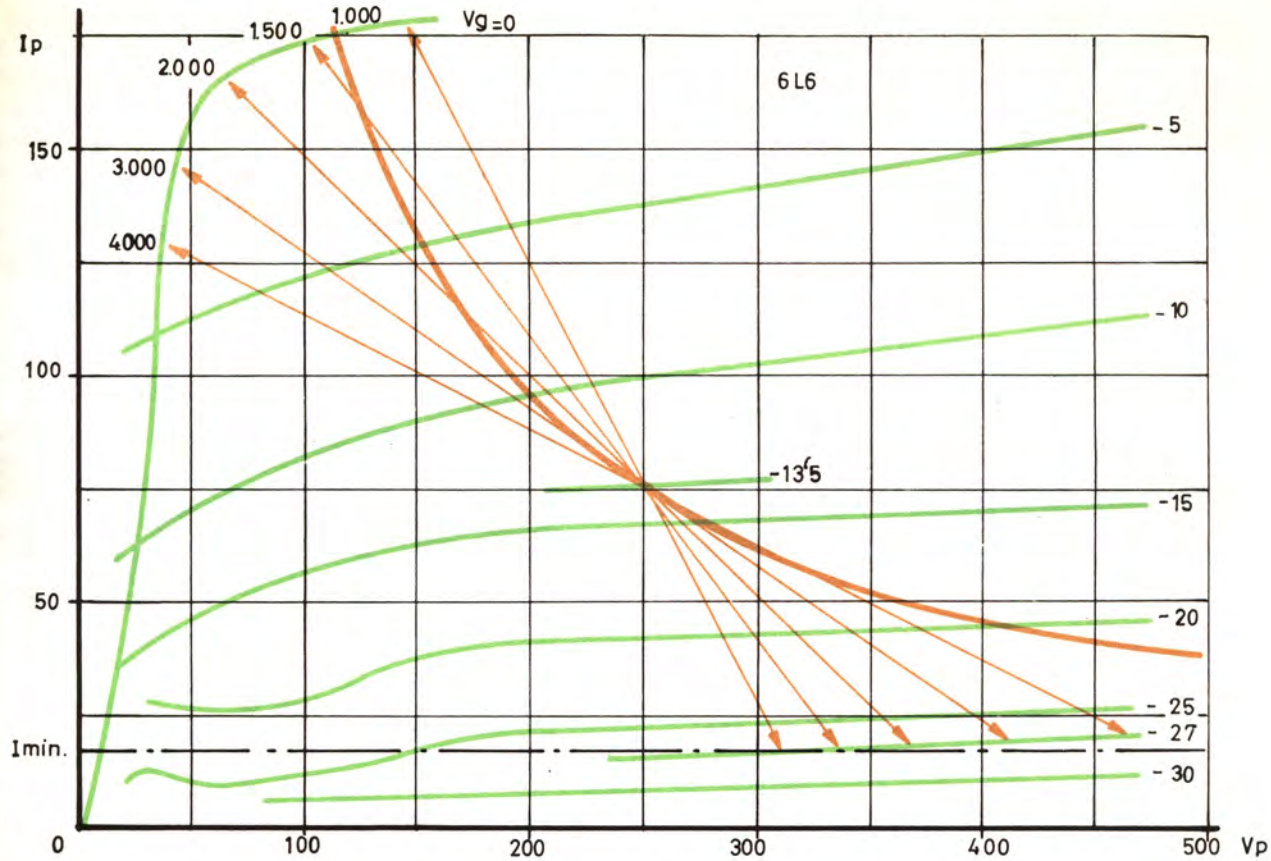
Por lo contrario, si se elige una resistencia de carga menor (2000 Ω, por ejemplo) la distorsión —que, repetimos, es casi exclusivamente debida al tercer armónico— es del orden de 1'5 %, cifra muy aceptable pero no tan espectacular como la conseguida con los triodos.

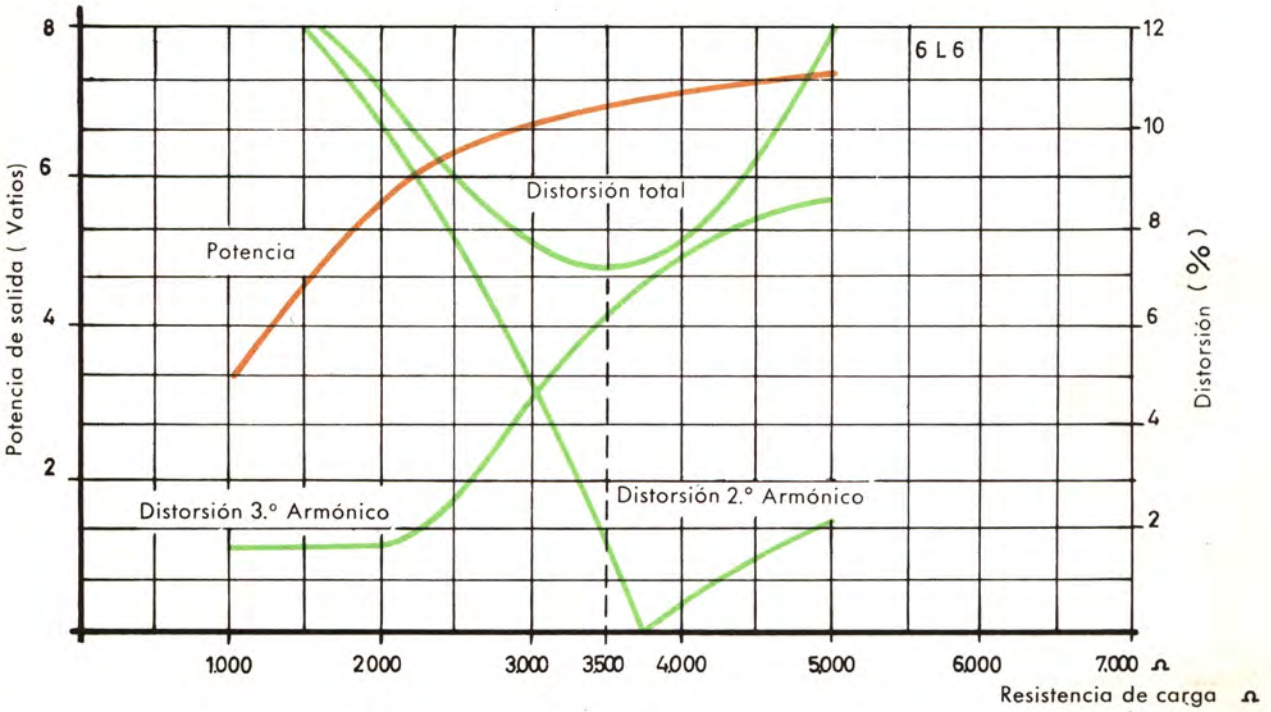
Por otra parte, la potencia disponible ha quedado reducida a un total de 10 vatios (5 vatios por válvula). Las cifras anteriores parecen indicar para los tetrodos una ventaja notable, en cuanto a la potencia disponible, con respecto a los triodos; pero hemos de hacer observar que en rigor las válvulas que hemos tomado como ejemplo no son del todo equiparables, puesto que potencia de disipación de placa de la 6L6 es 19 vatios, y de sólo 15 vatios la de la 2A3. Por supuesto, existen triodos capaces de suministrar potencias mucho mayores que el 2A3; así, por ejemplo, la 6AS7 es una válvula de tamaño no exageradamente grande que incluye en la misma ampolla dos triodos con una potencia de disipación total de 26 vatios.

Resumiendo: *si se considera únicamente la cuestión de la distorsión*, los triodos resultan, como válvulas de potencia, más adecuados que los tetrodos o pentodos, y ello porque la distorsión en los triodos se debe en su mayor parte al segundo armónico, y por tanto se elimina en un montaje *push-pull*, en tanto que un tanto por ciento muy importante de la distorsión total de los pentodos se origina por el tercer armónico.

Por lo que a sensibilidad de potencia se refiere, los pentodos y tetrodos presentan condiciones más favorables que los triodos debido a su mayor coeficiente de amplificación. Las cifras dadas para la 2A3 y la 6L6 son elocuentes en este sentido: la primera precisa una tensión de 86 V_{pp} para su plena excitación, en tanto que para la segunda bastan 27 V_{pp}.

A causa de la gran tensión de ataque requerida por los triodos, el paso precedente al de salida —es decir, la que se suele llamar etapa excitadora— es de difícil realización, pues de ordinario



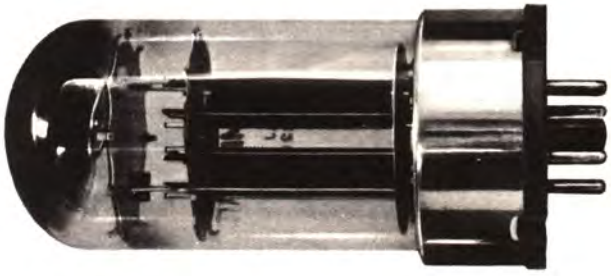


Para los pentodos y los tetrodos de haces dirigidos existe una recta de carga para la que la distorsión es mínima (3500 Ω en el caso de la 6L6). Esa es la recta de carga que debe elegirse si la válvula está montada en un paso de salida simple. Si el montaje es en contrafase la curva de distorsión total es aproximadamente la que corresponde al tercer armónico y en ese caso conviene elegir una impedancia de carga menor.

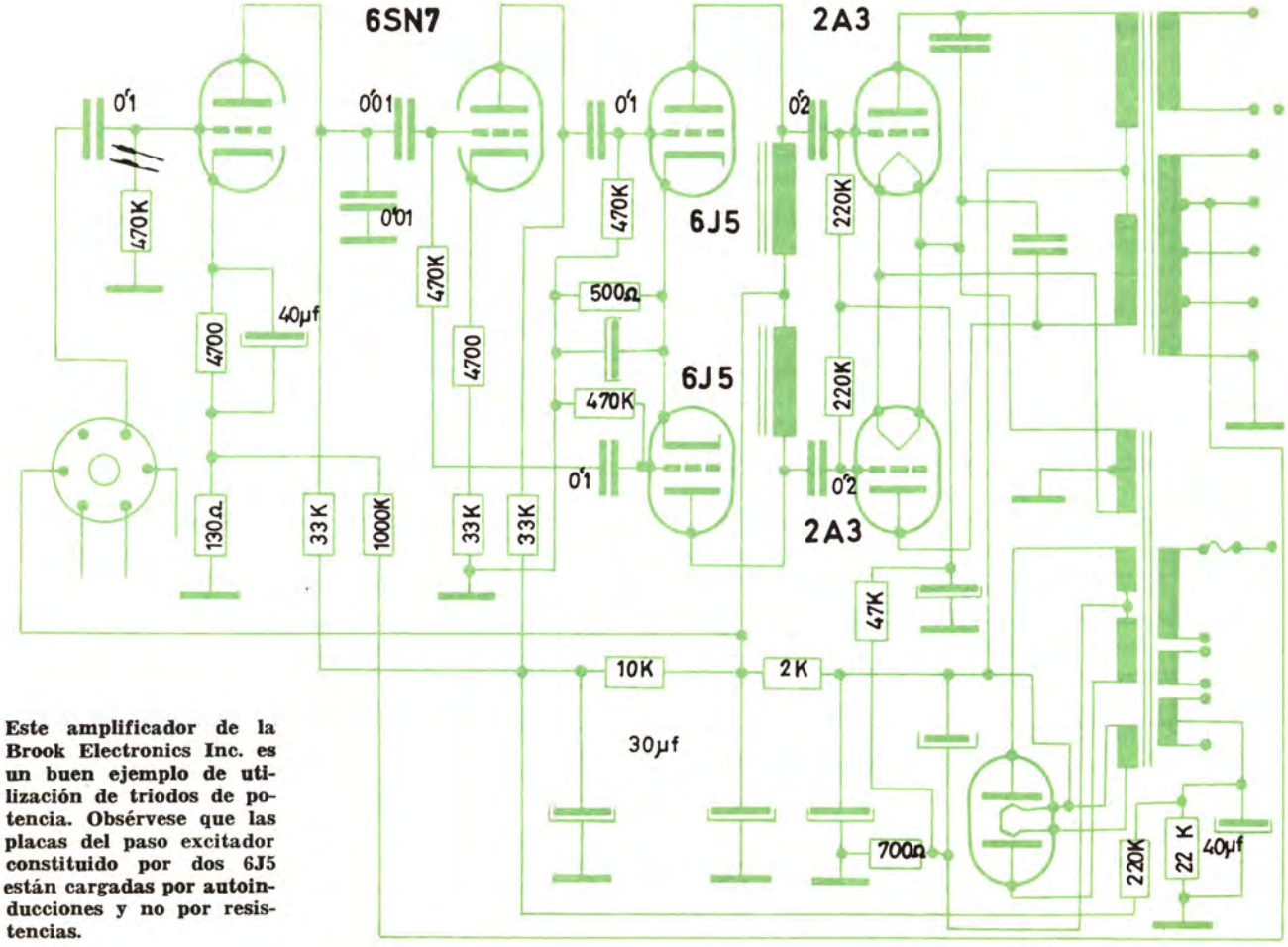
requiere efectuar el acoplamiento mediante un transformador o bien utilizar autoinducciones en lugar de resistencias de ánodo para que la tensión que polariza las placas de este paso previo sea lo más elevada posible y permita en consecuencia obtener señales de salida de la amplitud requerida.

Si esa etapa excitadora no está cuidadosamente diseñada y realizada, es posible que produzca tal grado de distorsión por sí misma que no represente ventaja alguna en el paso final el empleo de triodos en lugar de pentodos o tetrodos.

Un inconveniente adicional de los triodos es que requieren fuentes de alimentación más costosas. Ello no sólo se debe a que el rendimiento de los triodos es menor que el de los pentodos, y por tanto consumen más energía que estos últimos para suministrar determinada potencia sono-



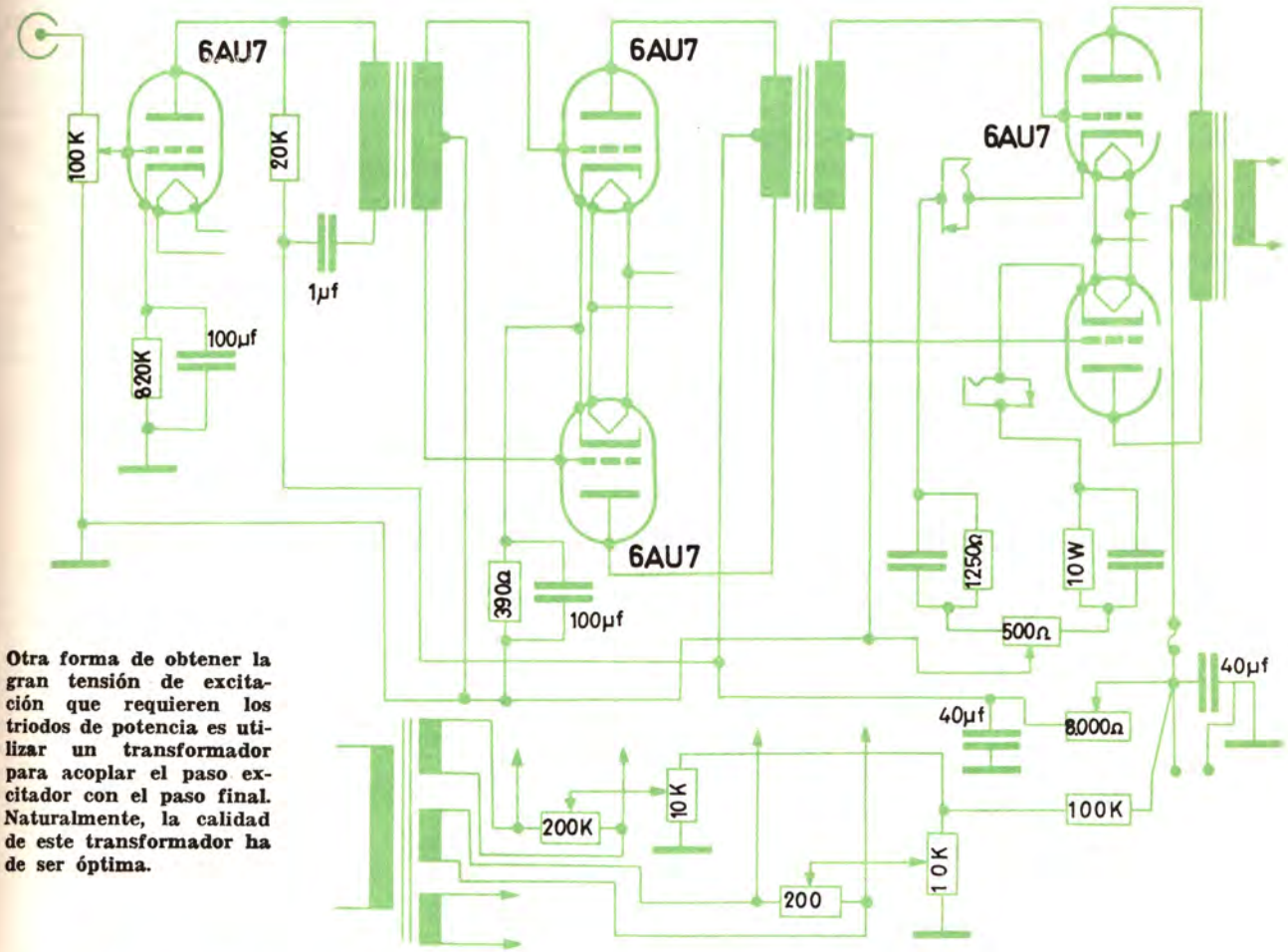
Dos triodos de potencia que pueden emplearse en amplificadores de Hi-Fi son la 2A3 y la 6AS7.



Este amplificador de la Brook Electronics Inc. es un buen ejemplo de utilización de triodos de potencia. Obsérvese que las placas del paso excitador constituido por dos 6J5 están cargadas por autoinducciones y no por resistencias.

ra, sino también a que debido a las elevadas tensiones de polarización de rejilla que requieren (—45 V para la 2A3 y unos— 75 V para la 6AS7) la energía disipada en las resistencias de cátodo, cuando se utiliza este tipo de polarización, es bastante respetable. Si se utiliza la solución, más adecuada, de polarizar directamente las rejillas mediante una tensión negativa auxiliar, se precisa añadir a la fuente de alimentación un rectificador y un filtro adicional para obtener esa tensión.

El resumen, pues, de la comparación entre triodos y pentodos, como válvulas del paso final de un amplificador de Hi-Fi, es que los primeros proporcionan más calidad y con los segundos el montaje resulta más barato.



Otra forma de obtener la gran tensión de excitación que requieren los triodos de potencia es utilizar un transformador para acoplar el paso excitador con el paso final. Naturalmente, la calidad de este transformador ha de ser óptima.

PASO DE SALIDA ULTRALINEAL

Existe un tipo de montaje que combina en cierto grado las cualidades de sensibilidad y rendimiento de pentodos y tetrodos y la baja distorsión inherente a los triodos, sin presentar en cambio los inconvenientes propios de estos últimos. Ese montaje utiliza pentodos o tetrodos; pero con la diferencia, respecto del *push-pull* normal, de que las pantallas no se conectan directamente la alta tensión, sino a un par de tomas intermedias de que van provistas las dos mitades del primario del transformador de salida.

Es fácil comprender que este montaje presente caracteristicas intermedias entre las propias de los pentodos y de los triodos.

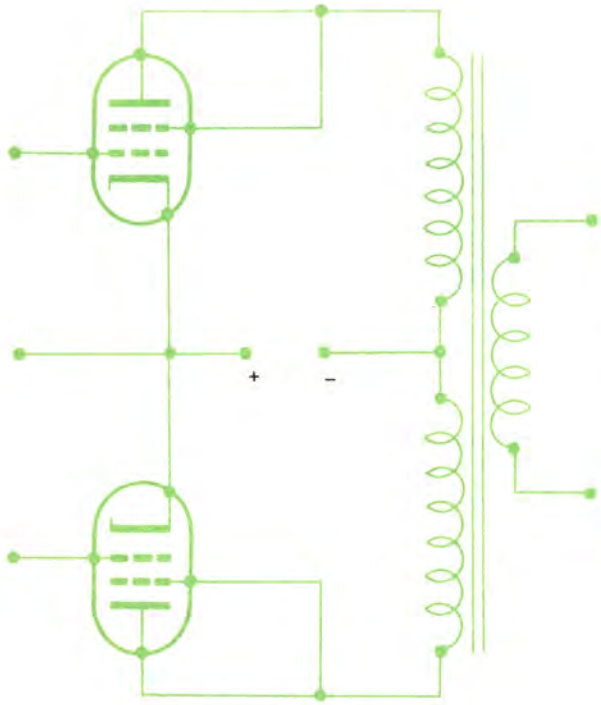
Si esas tomas intermedias están muy próximas a los terminales conectados a las placas el montaje tiene características muy parecidas a las de un paso con triodos. En particular, si las pantallas están directamente conectadas a las placas el montaje es en realidad un montaje con triodos.

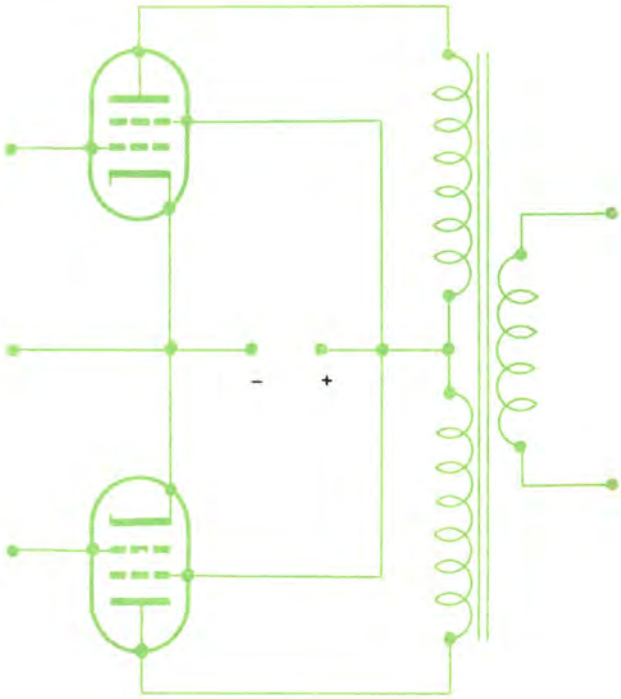
Por lo contrario, si las tomas intermedias están próximas al terminal de alta tensión el funcionamiento es similar al de un paso con pento-

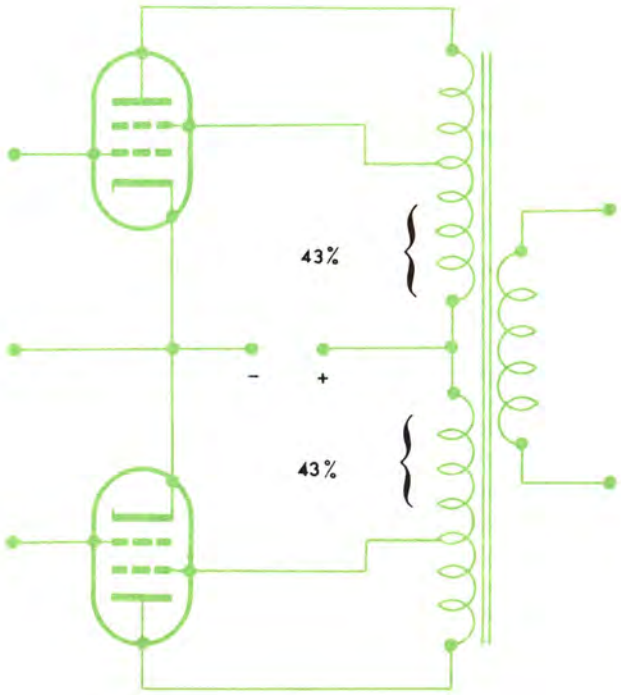
dos; y se convierte en un paso convencional si las pantallas se conectan directamente a ese terminal.

El funcionamiento más adecuado se consigue realizando las tomas a un 43 % del número de espiras de cada mitad del primario contado a partir de la toma central de alta tensión.

La denominación de ultralineal dada a este montaje se debe a que realmente la característica del amplificador es mucho más lineal que si se utilizasen los pentodos en un montaje convencional; es decir, con las pantallas conectadas a la alta tensión, tal como indica el esquema segundo de la figura de esta página.







Alimentando las pantallas a partir de tomas intermedias practicadas en las mitades del primario del transformador de salida, se conjugan el buen rendimiento y alta sensibilidad de los pentodos o tetrodos con la gran linealidad propia de los triodos. Es recomendable practicar las tomas a un 43 % del número total de espiras de cada unidad del primario.

OPERACIONES DE AJUSTE EN EL PASO FINAL

Tanto si se utilizan triodos como si se utilizan pentodos, sea en montaje ultralineal o en montaje convencional, para aprovechar la más notable cualidad del paso *push-pull*, que como sabemos es la supresión de los armónicos pares, es necesario que las señales que entreguen las dos válvulas sean rigurosamente iguales.

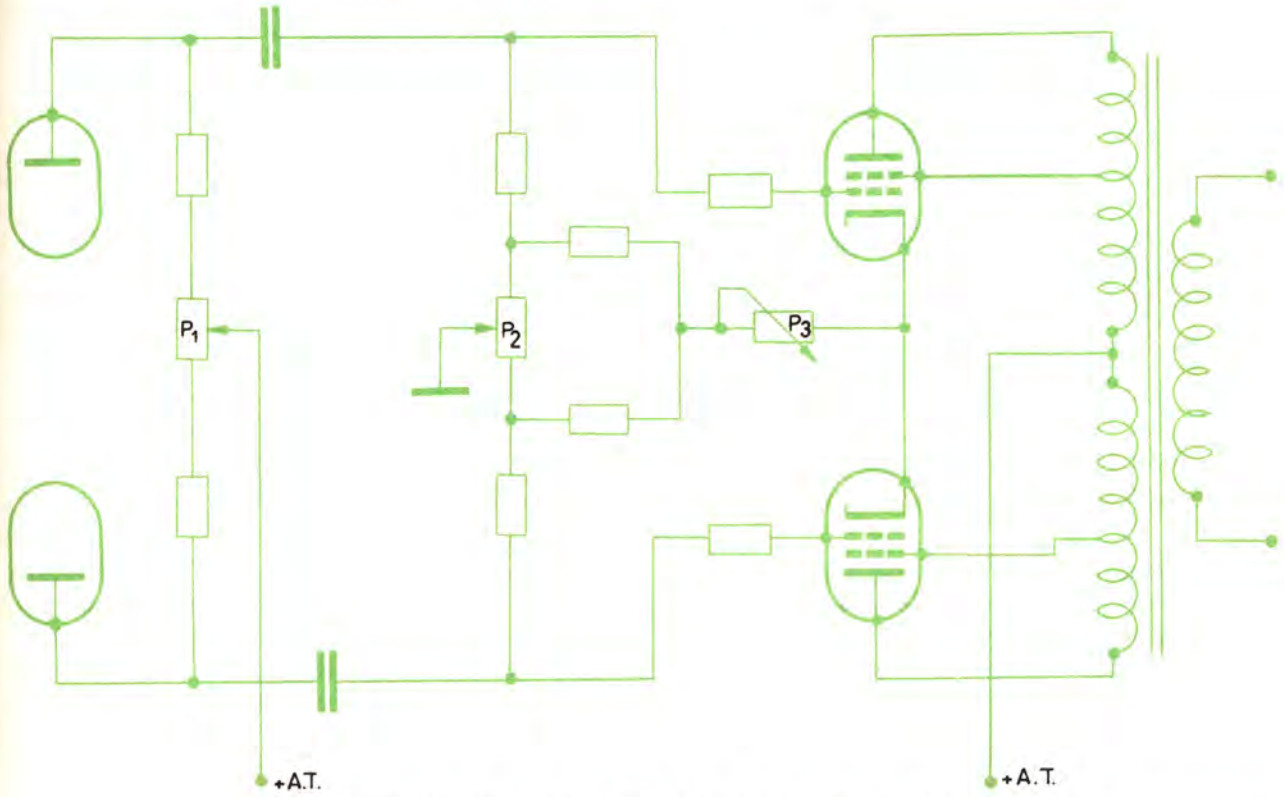
Por supuesto, el hecho de que dos válvulas tengan la misma denominación no significa que sus características sean rigurosamente iguales, sino tan sólo que son aproximadamente iguales dentro de las tolerancias de la fabricación en serie.

Si se desea obtener un paso realmente bien equilibrado, se empezará por elegir entre un lote de válvulas de igual denominación dos cuyas características difieran lo menos posible, y se preverá además la posibilidad de efectuar algunos ajustes sobre el montaje a fin de anular cualquier diferencia de funcionamiento.

De ordinario se prevé la posibilidad de variar independientemente la polarización de cada válvula para igualar las intensidades de placa, y también la de variar al unísono la polarización de ambas válvulas para determinar experimentalmente el punto de trabajo más adecuado, que no será el mismo que indiquen las características que proporciona el fabricante, pues éstas sólo son un promedio de las características reales de todas las válvulas de la serie.

También es conveniente que sean ajustables las resistencias de carga de la etapa excitadora para poder alterar la amplitud relativa de las dos tensiones de ataque, con lo que puede compensarse la posible diferencia de los factores de amplificación de las válvulas finales.

Naturalmente, para que el paso final esté bien equilibrado también es esencial que el transformador de salida sea rigurosamente simétrico; pero aquí no es posible efectuar corrección alguna y la única solución es comprar uno construido con esmero y resignarse a pagar el precio, desde luego bastante más elevado que el de un transformador corriente.



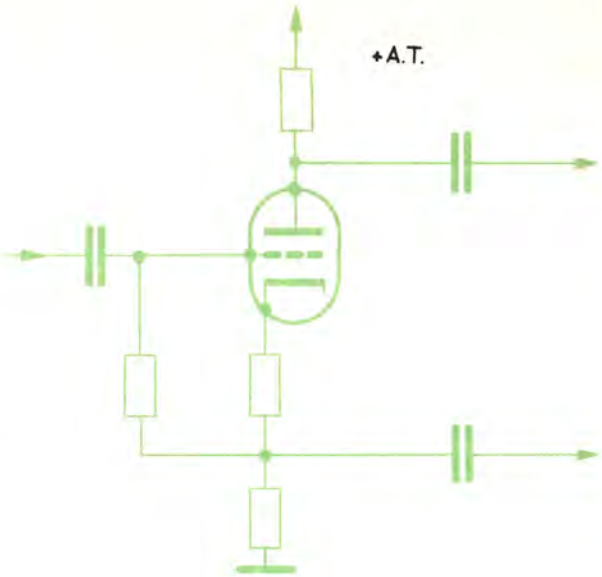
Elementos de ajuste del paso final del amplificador Williamson.
P_1 permite variar la ganancia relativa de las válvulas del paso excitador compensando así las diferencias en el coeficiente de amplificación de las válvulas del paso final.
P_2 permite variar la polarización relativa de las válvulas del paso final a fin de igualar los consumos.
P_3 permite variar la polarización de ambas válvulas a la vez a fin de elegir el punto de trabajo más adecuado.

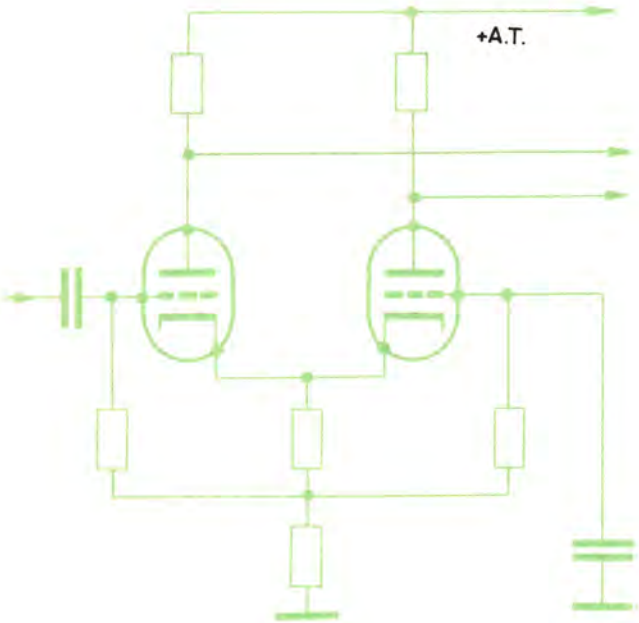
INVERSORES DE FASE

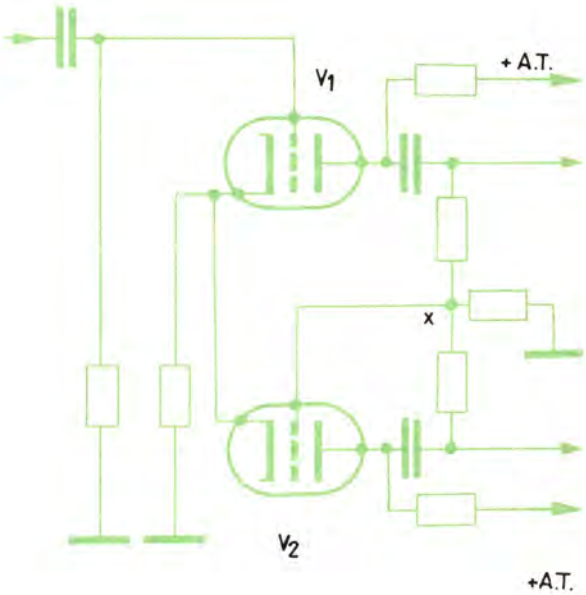
El inversor de fase es el circuito que proporciona, a partir de una sola señal, las dos opuestas en fase y de igual amplitud que se requieren para atacar el paso final en *push-pull*.

El funcionamiento de los inversores de fase fue analizado en el tomo IV, lección 25. Tanto el defasador catódico como el derivado del amplificador de acoplamiento por catodo explicados allí son ampliamente utilizados en Hi-Fi.

También es muy utilizado el llamado inversor parafase flotante cuyo esquema aparece en la figura inmediata. Una parte de la señal de placa de la válvula V_1 se toma del punto X y se aplica a la rejilla de la válvula V_2 en cuya placa aparece en oposición de fase.





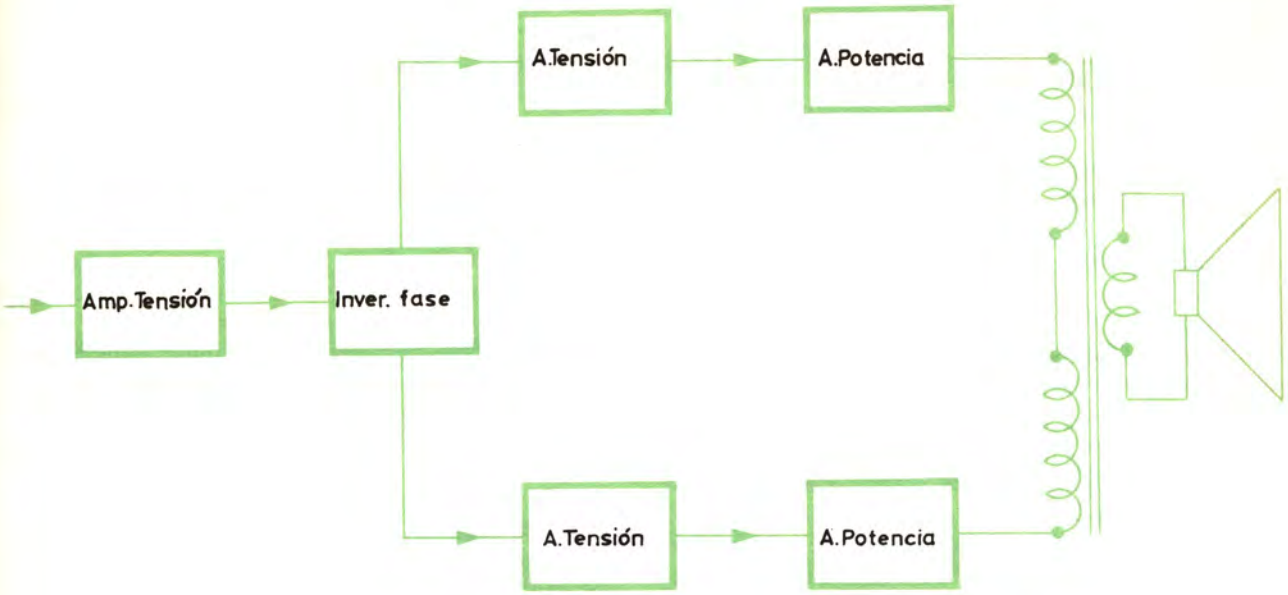


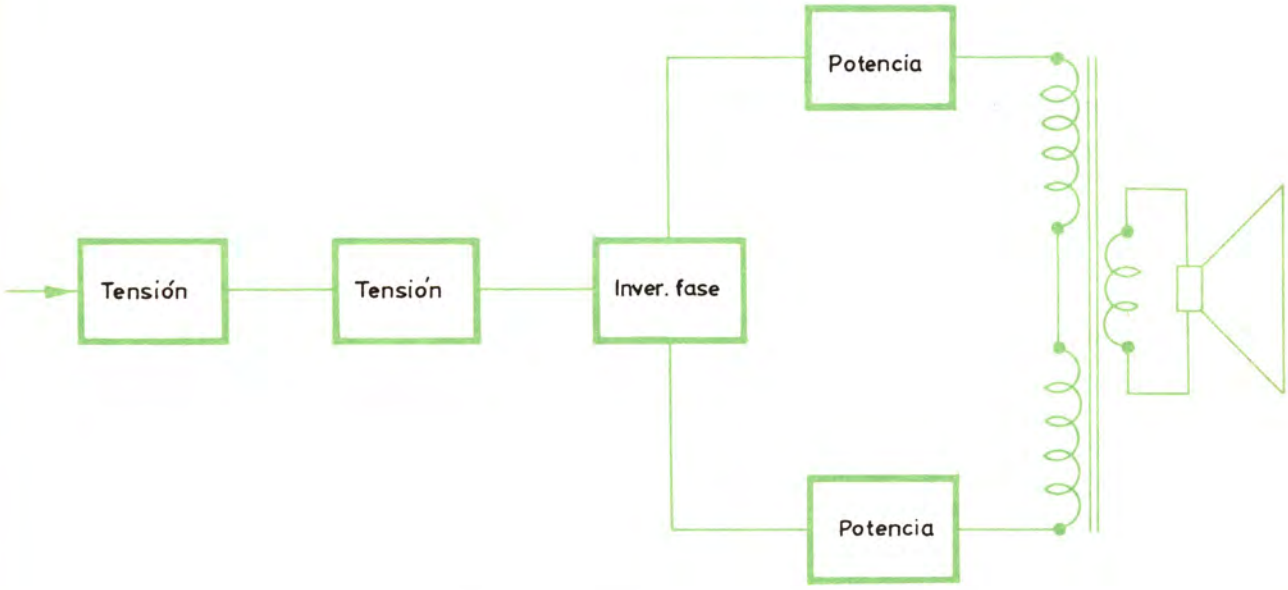
AMPLIFICADORES DE TENSION

Según hemos visto, la señal requerida para excitar el paso final de un amplificador de potencia es bastante importante. Por otra parte, la ganancia de los inversores de fase es en general pequeña. Concretamente, en el caso del defasador catódico las dos señales de salida tienen menor amplitud que la señal de entrada.

Resulta, pues, que si el amplificador de potencia estuviese formado por sólo el paso final y el inversor de fase su sensibilidad sería insuficiente para ser excitado por el preamplificador. Por ello se añaden al amplificador de potencia uno o más pasos amplificadores de tensión, de manera que finalmente su sensibilidad sea tal que la máxima potencia se obtenga para señales de entrada cuyo nivel suele cifrarse en 1 voltio eficaz o menos.

La constitución de estos pasos amplificadores de tensión no ofrece particularidad alguna que no haya sido mencionada en lecciones anteriores. Respecto a su situación dentro del amplificador, pueden incluirse, según convenga, antes o después del inversor de fase. Esta última disposición es frecuente en amplificadores cuyo paso final requiere tensiones de excitación de gran amplitud, tal como es, por ejemplo, el caso de pasos de salida equipados con triodos.





A fin de adaptar la sensibilidad de las unidades de potencia al nivel de salida de los preamplificadores, en ellas se incluyen algunos pasos amplificadores de tensión. Ordinariamente si el paso de salida está constituido por pentodos éstos son atacados directamente por el inversor de fase; pero en el caso de utilizar triodos de potencia es casi obligado situar un paso amplificador de tensión entre el inversor y el paso de salida.

LA REALIMENTACION NEGATIVA

Tenemos ya constituido el amplificador de potencia; y cualesquiera que sean las soluciones constructivas que hayamos adoptado en su montaje, ese amplificador está caracterizado por:

La máxima potencia de salida.

El porcentaje de distorsión correspondiente a esa potencia.

Las frecuencias inferior y superior de corte y

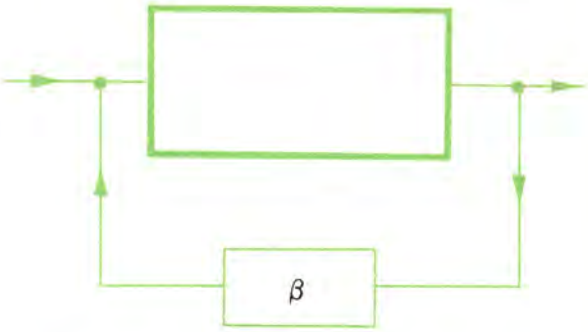
La sensibilidad.

Pues bien, *aplicando a ese amplificador cierto grado de realimentación negativa, es posible obtener la misma potencia de salida con un porcentaje de distorsión menor, dentro de un intervalo de frecuencias mayor* y *a costa solamente de una reducción de la sensibilidad.*

Aunque ésta es una cuestión que ya fue tratada en el tomo IV, lección 14, recordemos que realimentar un amplificador es volver a aplicar a la entrada una fracción de la señal de salida. La realimentación se realiza a través de un circuito que recibe el nombre de *lazo de realimentación;* la fracción de la señal de salida que vuelve a aplicarse a la entrada recibe el nombre de factor de realimentación (β).

Cuando la tensión de realimentación está en fase opuesta a la tensión de entrada, se dice que la realimentación es negativa; y según se explicó en la lección 14 el resultado inmediato es una disminución en la ganancia del amplificador.

Concretamente, si la ganancia del amplificador sin realimentar es G, la ganancia del amplificador con realimentación negativa es:



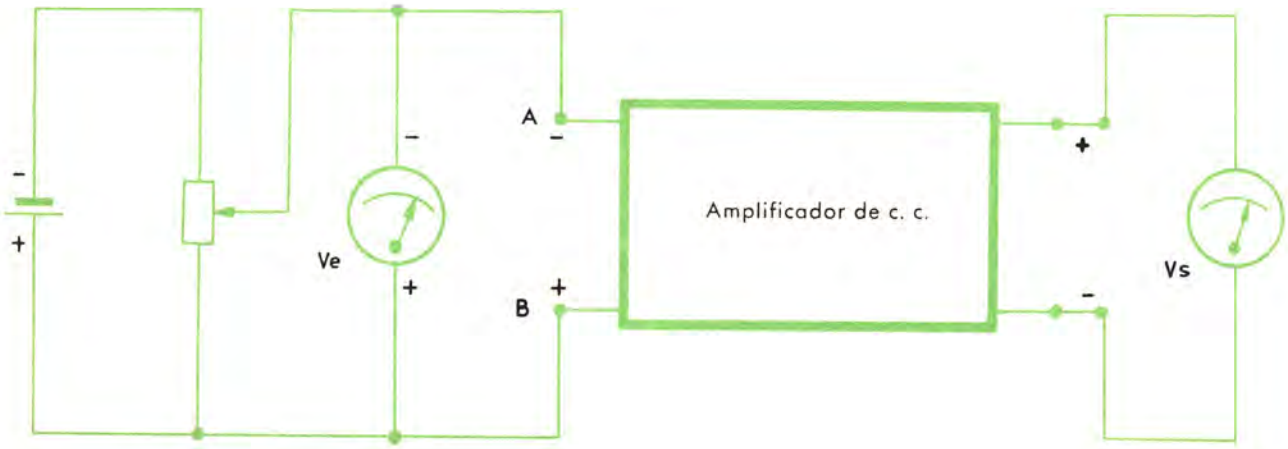
Realimentar un amplificador es volver a aplicar a la entrada parte de la señal de salida.

$$G_r = \frac{G}{1 + \beta G}$$

Supongamos por ejemplo un amplificador cuya ganancia sea G = 99 al que se agrega un lazo de realimentación que aplica a la entrada una undécima parte de la tensión de salida ($\beta = 1/11$). Una vez añadido el lazo de realimentación, la ganancia es:

$$G_r = \frac{99}{1 + \frac{1}{11} \times 99} = \frac{99}{1 + 9} = 9'9$$

La ganancia del amplificador se ha reducido a la décima parte.



Mediante esta disposición podemos estudiar la característica de transferencia del amplificador.

Eso significa que si para obtener 99 voltios a la salida en el amplificador sin realimentar era preciso aplicar 1 voltio a la entrada, para obtener esos 99 voltios una vez realimentado será preciso aplicar 10 voltios a la entrada.

En caso de seguir aplicando 1 voltio a la entrada, a la salida se obtendría solamente 9'9 voltios.

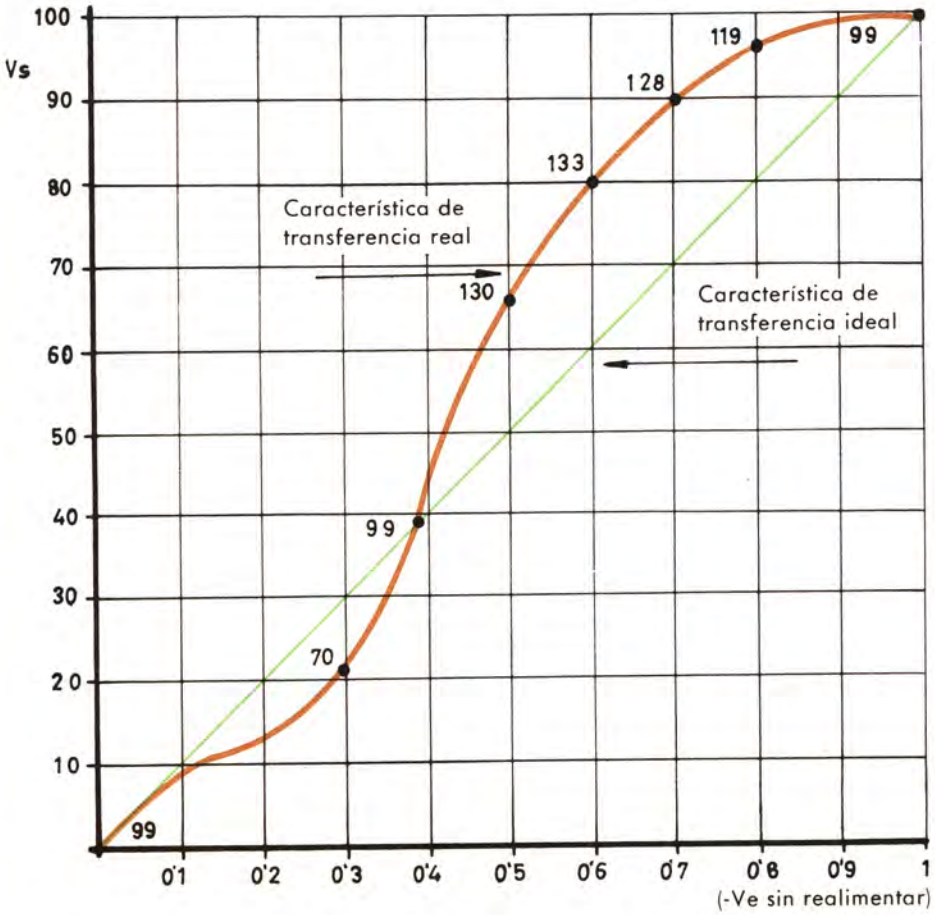
Por supuesto que si éste fuera el único resultado conseguido con la realimentación negativa, su uso no tendría interés; pero, como ya hemos indicado anteriormente, la pérdida de sensibilidad queda compensada con una mejora de las características del amplificador en cuanto a linealidad y ancho de banda, lo que reduce la distorsión.

LA REALIMENTACION NEGATIVA MEJORA LA LINEALIDAD

Veamos en primer lugar cómo influye la realimentación negativa en la linealidad del amplificador. Para ello, y a fin de que los razonamientos sean más fáciles de entender, supondremos que el amplificador que analizamos está acoplado en continua, advirtiendo desde ahora que los resultados son aplicables a cualquier tipo de amplificador.

Disponiendo las cosas como indica la figura adjunta, puede medirse para cada valor de la tensión de entrada la correspondiente tensión de salida. Situando en abscisas los valores de la tensión de entrada y en ordenadas los correspondientes a la tensión de salida se obtiene una curva que recibe el nombre de *características de transferencia* del amplificador; curva que en el caso ideal debiera ser una línea recta porque el cociente entre la tensión de salida y la tensión de entrada correspondiente debiera ser siempre el mismo e igual a la ganancia nominal del amplificador.

Por ejemplo, supongamos que se aplica a la

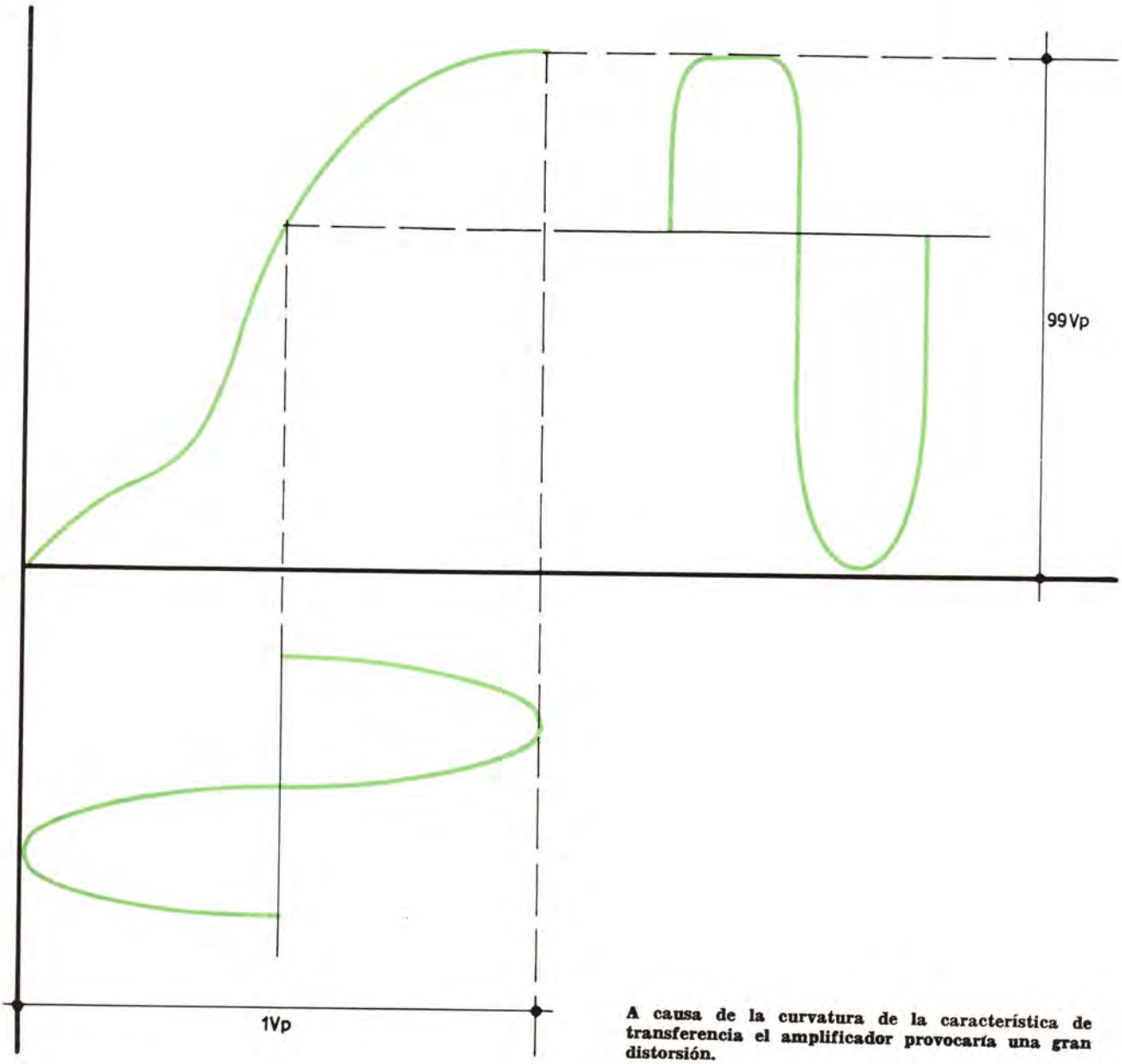


Suponemos que la línea en rojo es la característica de transferencia que hemos obtenido experimentalmente de nuestro amplificador. En ella se han marcado diversos puntos anotando la ganancia que en ellos presenta el amplificador. Puede observarse que sólo en dos puntos la ganancia real es igual al valor nominal G = 99.

entrada una tensión de 1 V y que la correspondiente tensión de salida es de 99 V. Según esto la ganancia del amplificador es de G = 99; y *si fuese un amplificador lineal*, al reducir el valor de la tensión de entrada la tensión de salida debería reducirse proporcionalmente. Así, por ejemplo, a una tensión de entrada de 0'5 V (mitad de la anterior) correspondería una tensión de salida de 99/2 = 49'5 V (también mitad de lo anterior).

Sin embargo, he aquí que, medida en nuestro amplificador, la tensión de salida correspondiente a una tensión de entrada de 0'5 V resulta no ser de 49'5 V, sino de 65 V; y así mismo para otros valores de la tensión de entrada comprendidos entre 0 y 1 los valores correspondientes de la tensión de salida no son en general los que corresponden a una ganancia de G = 99. Por tanto, la *característica de trasferencia* no es una recta, sino una curva que pone claramente de manifiesto que la ganancia del amplificador depende del nivel de la señal de entrada.

Así, por ejemplo, para una señal de entrada de 0'6 V la señal de salida es de 80 V. Por tanto la ganancia es G = 80/0'6 = 133; y para una señal de 0'3 V a la entrada la señal de salida es de 21 V, siendo la ganancia en este caso de G = = 21/0'3 = 70. Esos dos valores difieren muy notablemente del valor G = 99 que habíamos indicado como ganancia nominal del amplificador objeto de nuestro estudio.



A causa de la curvatura de la característica de transferencia el amplificador provocaría una gran distorsión.

A causa de la curvatura de la característica de trasferencia, el amplificador presentará distorsión de amplitud y de intermodulación. En el gráfico se indica la notable deformación que presentarían las señales de salida para una tensión de entrada variable entre 0 y 1 V.

Apliquemos ahora realimentación negativa al amplificador y obtengamos de nuevo su característica de transferencia.

La figura indica cómo puede aplicarse esa realimentación negativa. El lazo de realimentación está constituido por un simple divisor de tensión formado por las resistencias de 10 KΩ y 1 KΩ, al cual se aplica la tensión de salida del amplificador y del cual se toma, para ser aplicada a la entrada, la tensión que aparece en extremos de la resistencia de 1 KΩ.

Cuando en la salida hay 99 V en los extremos de la resistencia de 1 KΩ aparecen 9 V; es decir, la undécima parte de la tensión total, de manera que el factor de realimentación es $\beta = 1/11$.

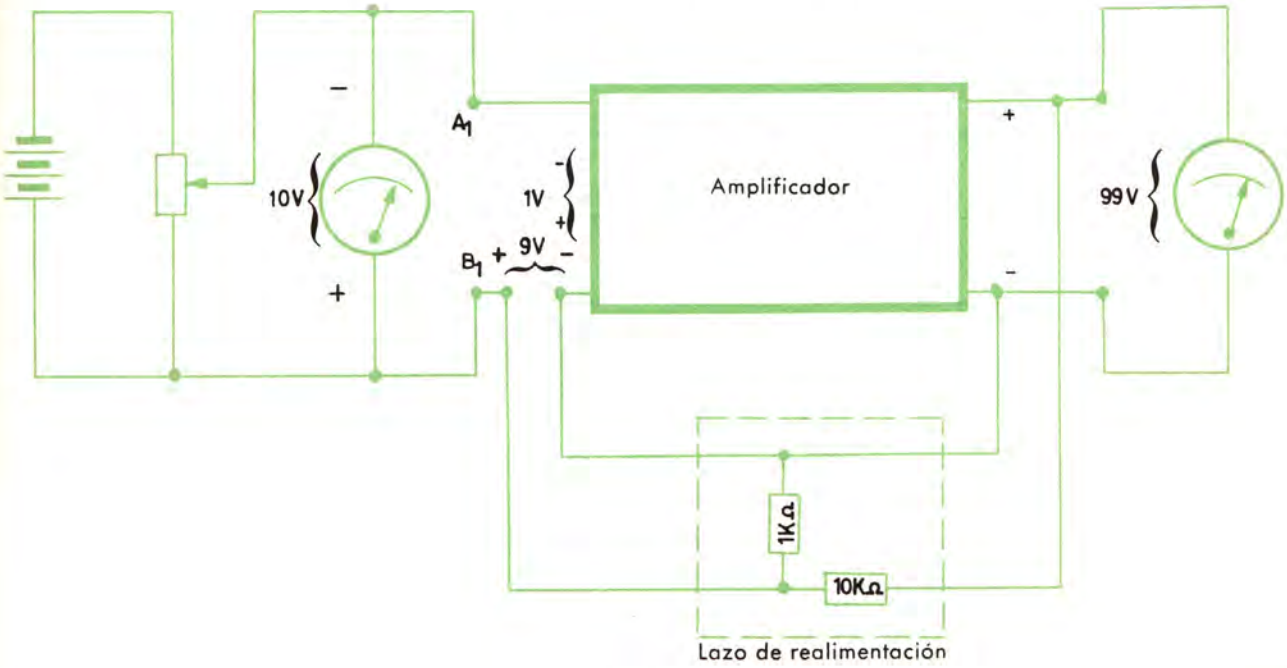
De acuerdo con la figura, esos 9 V se aplican a la entrada en serie con la tensión que suministra el potenciómetro y con polaridad opuesta. Puesto que para que aparezcan 99 V a la salida del amplificador es preciso aplicar —1 V en los puntos A B, la diferencia entre la tensión que suministra el potenciómetro y la que proviene del lazo de realimentación ha de ser precisamente de —1 V, y por tanto la tensión aplicada por el potenciómetro a los terminales A_1 y B_1 ha de ser de —10 V. Con esto la ganancia nominal del amplificador, considerando A_1 y B_1 como los terminales de entrada, ha quedado reducida como ya habíamos calculado anteriormente:

$$G_r = \frac{99}{10} = 9'9$$

Si ahora vamos reduciendo la tensión aplicada a los terminales A_1 y B_1 y midiendo los valores correspondientes de la tensión de salida podremos trazar la nueva característica de transferencia.

Consideremos lo que ocurrirá al aplicar —6 V a los terminales A_1 y B_1. El amplificador trabajará aproximadamente en las mismas condiciones que cuando aplicábamos —0,6 V sin hacer uso de realimentación.

Teniendo en cuenta que para ese valor la ga-



Mediante el divisor de tensión constituido por las resistencias de 10 KΩ y 1 KΩ aplicamos realimentación negativa con un factor $\beta = \frac{1}{11}$. En estas condiciones para obtener 99 V a la salida es preciso aplicar 10 V a la entrada.

nancia era G = 133, una vez aplicada la realimentación la ganancia será

$$G_r = \frac{133}{1 + \frac{1}{11} 133} \simeq \frac{133}{1 + 12} = \frac{133}{13} \simeq 10$$

Este dato tiene un extraordinario interés, pues demuestra claramente que la nueva característica es mucho más lineal. En efecto, cuando el amplificador no estaba realimentado al aplicar —0'6 voltios a la entrada, la salida *debería ser*:

$$V_s = V_e \times \text{ Ganancia nominal} = 0'6 \times 99 = 59'4 \text{ V}$$

y en cambio, según ya hemos dicho, es $V_s = 80$ V.

Una vez aplicada la realimentación negativa, la tensión de salida correspondiente a una señal de —6 V debiera ser:

$$V_s = V_e \times \text{Ganancia nominal} = 6 \times 9'9 = 59'4 \text{ V}$$

y en realidad resulta ser

$$V_s = 6 \times 10 = 60 \text{ V}$$

Como se ve, este último valor difiere muy poco del que realmente debiera tener.

Las mismas consideraciones pueden hacerse si se aplica una tensión de —3 V a los terminales A_1 y B_1.

En este caso la ganancia del amplificador propiamente dicho es G = 70, y por tanto con realimentación la ganancia será

$$G_r = \frac{70}{1 + \frac{1}{11} 70} \simeq \frac{70}{1 + 6'4} = \frac{70}{7'4} \simeq 9'5$$

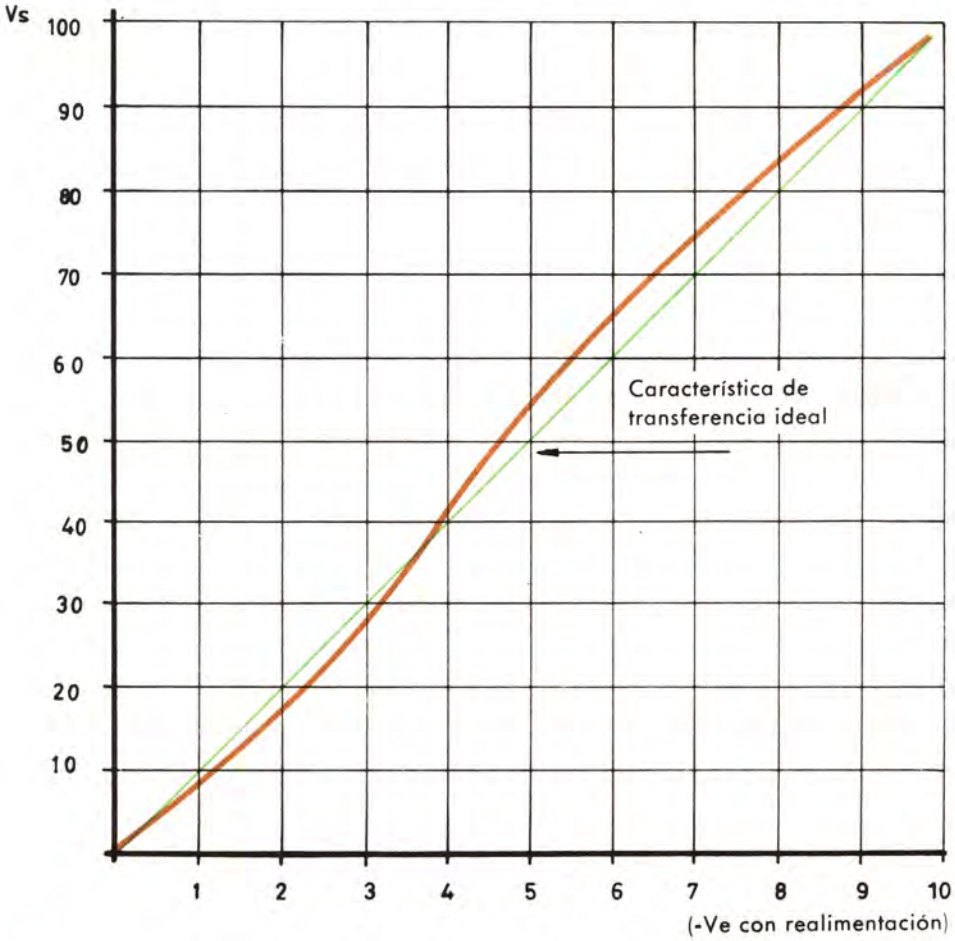
Con ello la tensión de salida, que debiera ser

$$V_s = 3 \times 9'9 = 29'7 \text{ V},$$

es en realidad

$$V_s = 3 \times 9'5 = 28'5 \text{ V};$$

y la diferencia entre estos valores es pequeña, sobre todo si se tiene en cuenta que sin realimentación, para una tensión de entrada de 0'3 V, la tensión de salida era $V_s = 21$ V.



La característica de transferencia del amplificador realimentado es mucho más lineal.

En fin, para cualquier otro valor de la tensión de entrada, el valor de la tensión de salida es mucho más próximo al que teóricamente debiera tener. Así queda indicado en la nueva característica de transferencia, que como puede apreciarse es casi recta.

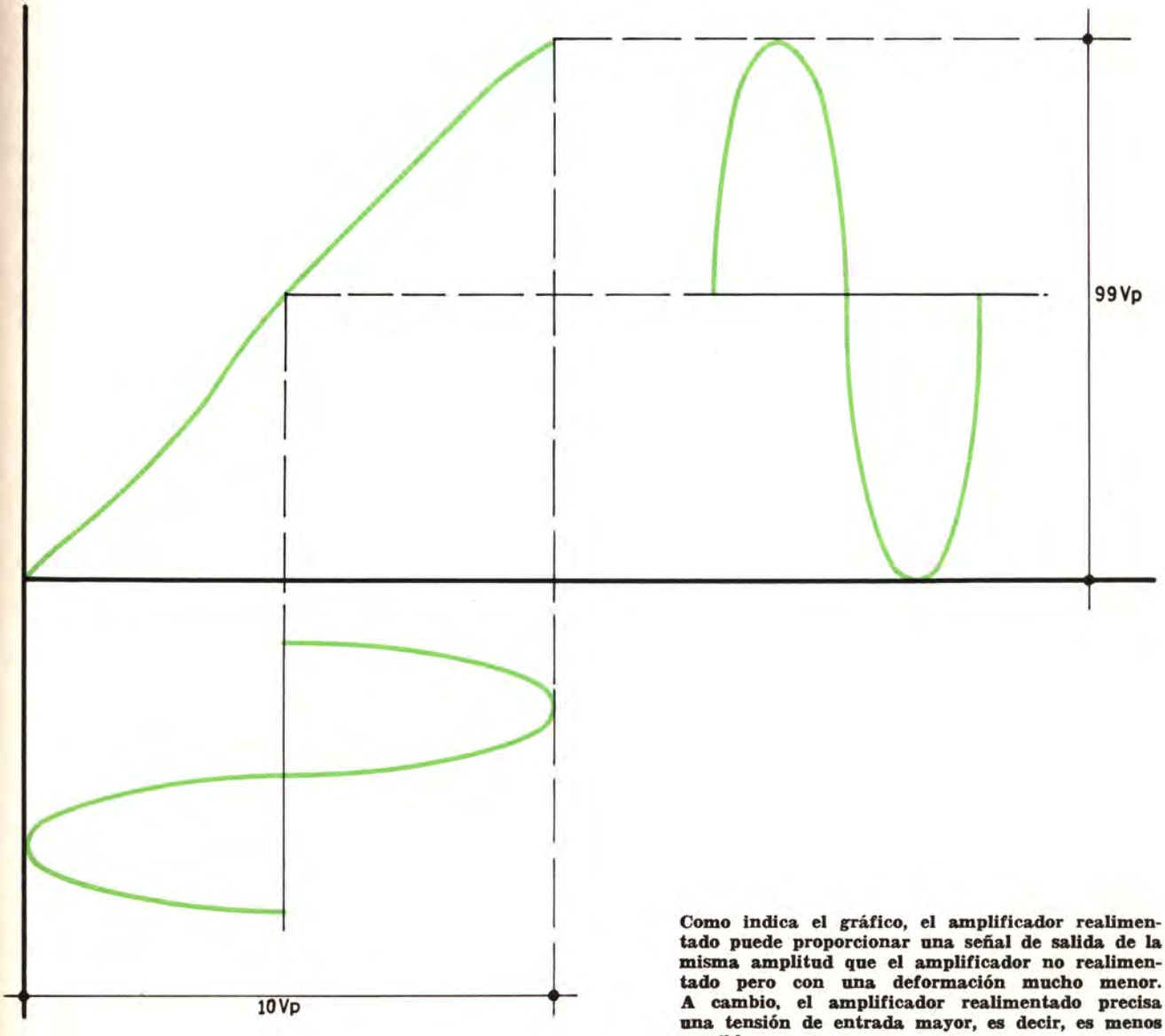
Si se aplica a los terminales A_1 y B_1 una tensión variable entre 0 y —10 V se obtiene a la salida una tensión de la misma amplitud que la obtenida al aplicar al amplificador sin realimentar una tensión variable en 0 y —1 V; pero ahora la deformación producida es mucho menor.

Queda, pues, claro que la realimentación negativa lineariza las características de un amplificador, y por tanto reduce la distorsión tanto de amplitud como de intermodulación.

Cualquier amplificador real presenta una característica de transferencia más o menos curvada, debido a que las características de las válvulas o transistores que emplea no son rectas; por tanto siempre será conveniente la aplicación de realimentación negativa a fin de reducir la distorsión.

Mediante la aplicación de la realimentación negativa es posible conseguir con tetrodos y pentodos porcentajes de distorsión tanto o más bajos que los conseguidos con triodos sin hacer uso de ella.

Esta circunstancia y las dificultades de orden



Como indica el gráfico, el amplificador realimentado puede proporcionar una señal de salida de la misma amplitud que el amplificador no realimentado pero con una deformación mucho menor. A cambio, el amplificador realimentado precisa una tensión de entrada mayor, es decir, es menos sensible.

práctico que supone el empleo de triodos de potencia son la causa de que la tendencia actual en la fabricación de amplificadores se incline hacia el uso de pentodos o tetrodos de haces dirigidos en el paso final.

Naturalmente, si se prevé que un amplificador ha de trabajar con realimentación, se le calculará con una sensibilidad mayor de la necesaria para compensar la pérdida que supone el uso del mencionado artificio.

LA REALIMENTACION NEGATIVA Y LA DISTORSION DE FRECUENCIA

La realimentación negativa también mejora el funcionamiento del amplificador desde el punto de vista de la distorsión de frecuencia, y ello por la razón de aumentar su ancho de banda.

Consideremos por ejemplo un amplificador cuya curva de respuesta para una tensión de entrada de 1 V es la que indica la figura. La ganancia de ese amplificador en la zona plana de la curva de respuesta es de 99 y las frecuencias superior e inferior de corte son respectivamente $f_1 = 60$ c/s y $f_2 = 10.000$ c/s. Para ellas la tensión de salida, y por tanto también la ganancia, se habrá reducido al valor

$$\frac{99}{\sqrt{2}} = \frac{99}{1'41} = 70$$

Si, como en el caso anterior, se aplica realimentación negativa con un factor de realimentación β 1/11, la ganancia en la zona plana será $G_r = 9'9$ y para obtener los 99 de salida será preciso aplicar 10 V a los terminales de entrada.

Para las frecuencias de corte, en que la ganancia se había reducido a $G = 70$, la ganancia será ahora

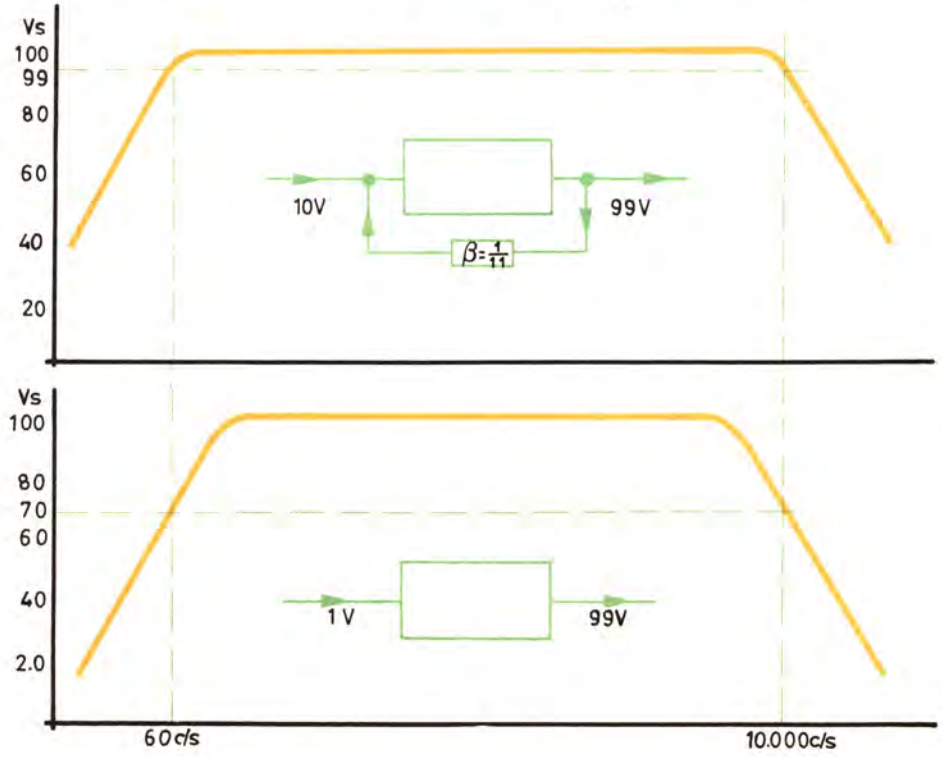
$$G_r = \frac{70}{1 \frac{1}{11} 70} \simeq 9'5$$

y por tanto la tensión de salida será

$$V_s = 10 \times 9'5 = 95;$$

es decir, casi igual que en la zona plana, lo que indica que ahora la frecuencia inferior de corte es menor de 60 c/s y la superior mayor de 10.000 c/s.

Está claro, pues, que si bien la realimentación negativa ha reducido la sensibilidad del amplificador, ha aumentado en cambio el ancho de la curva de respuesta.



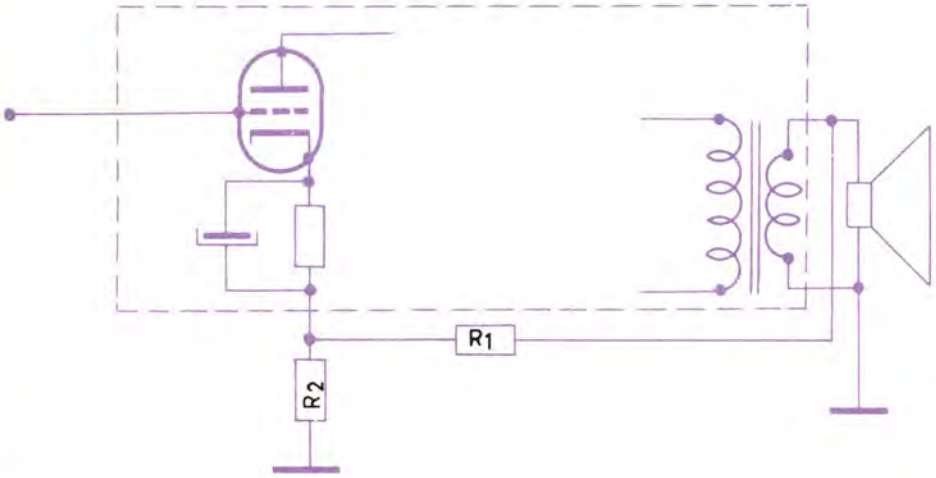
La realimentación negativa aumenta el ancho de banda del amplificador.

CIRCUITOS PRACTICOS PARA APLICAR REALIMENTACION A UN AMPLIFICADOR DE HI-FI

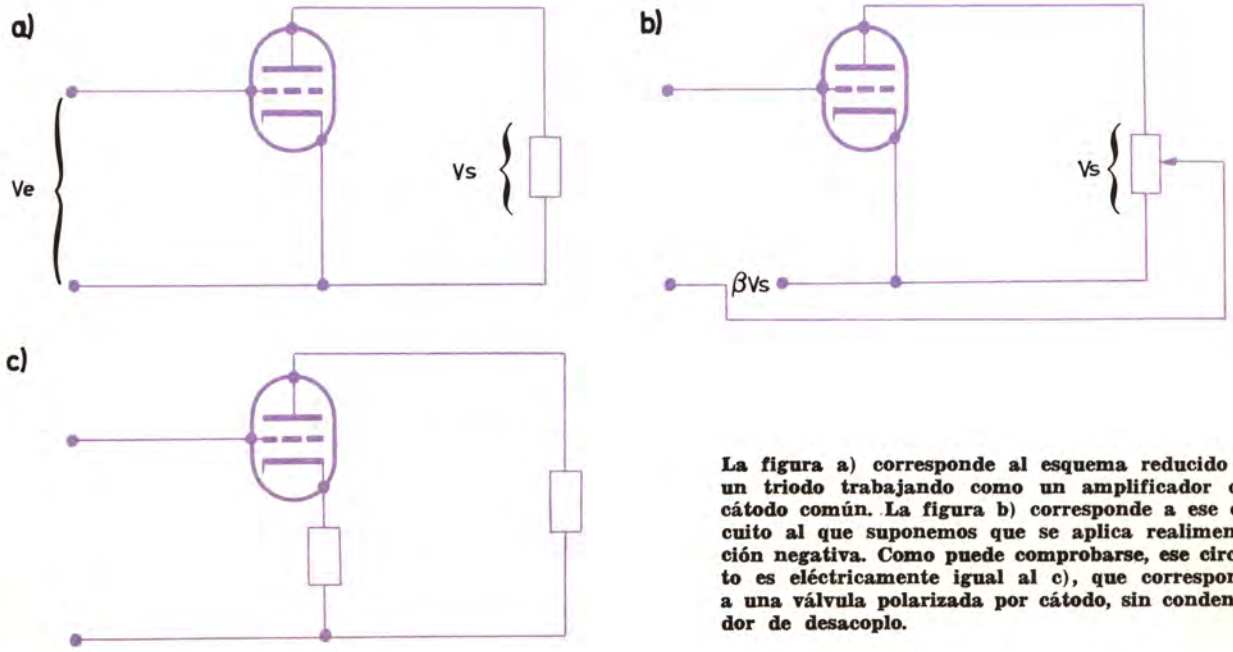
Existen muy diversas formas de realimentar un amplificador; pero lo más usual en los amplificadores de Fi-Fi es tomar del secundario del transformador de altavoz una fracción de la tensión de salida y aplicarla a la entrada del amplificador, por lo general inyectándola en el cátodo de la primera válvula. Este método tiene la ventaja de que el lazo de realimentación es de baja impedancia y por tanto no ofrece el peligro de captar tensiones de zumbido.

Observando los esquemas correspondientes a amplificadores de Hi-Fi se aprecia que casi todos, por no decir todos, emplean este sistema.

Aparte de este tipo de realimentación que pudiéramos llamar total, puesto que se aplica al conjunto del amplificador, se utiliza a veces una realimentación parcial entre la salida y la entrada de una misma etapa. La forma más sencilla de conseguirlo es eliminar el condensador que desacopla la resistencia de cátodo. En estas condiciones la resistencia de cátodo forma parte en realidad de la resistencia de carga y la fracción de la tensión de salida que en ella aparece queda aplicada a la entrada. Las figuras ponen claramente de manifiesto cómo realmente una válvula cuya resistencia de cátodo no está desacoplada puede considerarse como un amplificador realimentado.



La forma más usual de aplicar realimentación negativa a un amplificador de Hi-Fi es inyectar en el cátodo de la válvula de entrada una fracción de la tensión del secundario del transformador de salida.



La figura a) corresponde al esquema reducido de un triodo trabajando como un amplificador con cátodo común. La figura b) corresponde a ese circuito al que suponemos que se aplica realimentación negativa. Como puede comprobarse, ese circuito es eléctricamente igual al c), que corresponde a una válvula polarizada por cátodo, sin condensador de desacoplo.

EL PREAMPLIFICADOR

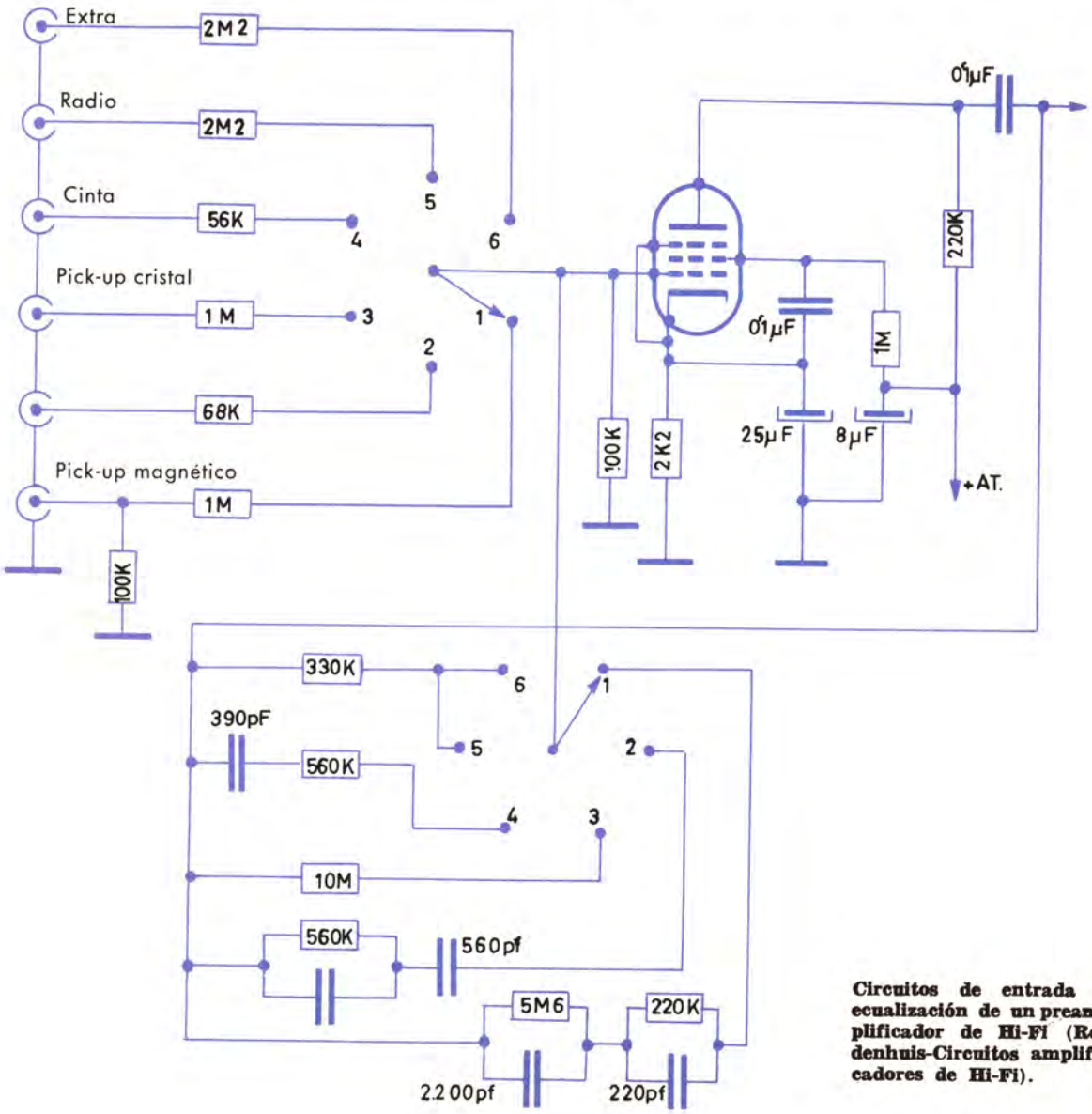
En un sistema de alta fidelidad hay diferentes fuentes de programa, cada una de las cuales tiene un determinado nivel de salida y precisa de una determinada impedancia de carga para su óptimo funcionamiento.

Ocurre entonces que el nivel de salida de las fuentes de programa normalmente no es adecuado a la sensibilidad del amplificador, y la impedancia de entrada de éste tampoco es la que más conviene para actuar como carga de las fuentes de programa. Es decir, que la coincidencia podría darse para una fuente determinada pero no para todas ellas.

De aquí surge la necesidad de emplear un elemento que tenga varias entradas, adecuadas a cada una de las fuentes que deban reproducirse, y que a la vez actúe de adaptador entre las fuentes y el amplificador, proporcionando con todas ellas el nivel de salida necesario para excitarlo. Pues bien, ese elemento que acopla diferentes fuentes al amplificador es lo que llamamos *preamplificador*.

En lo que consideramos reamplificador se llevan a cabo otras funciones además de las mencionadas de seleccionar las entradas, adaptar las impedancias y proporcionar las señales de salida necesarias.

En efecto; recordemos las curvas de grabación fonográfica. En la grabación de discos se introducían deformaciones consistentes en la atenuación o exageración de determinadas frecuencias para cumplir ciertos requisitos de espacio en



Circuitos de entrada y ecualización de un preamplificador de Hi-Fi (Rodenhuis-Circuitos amplificadores de Hi-Fi).

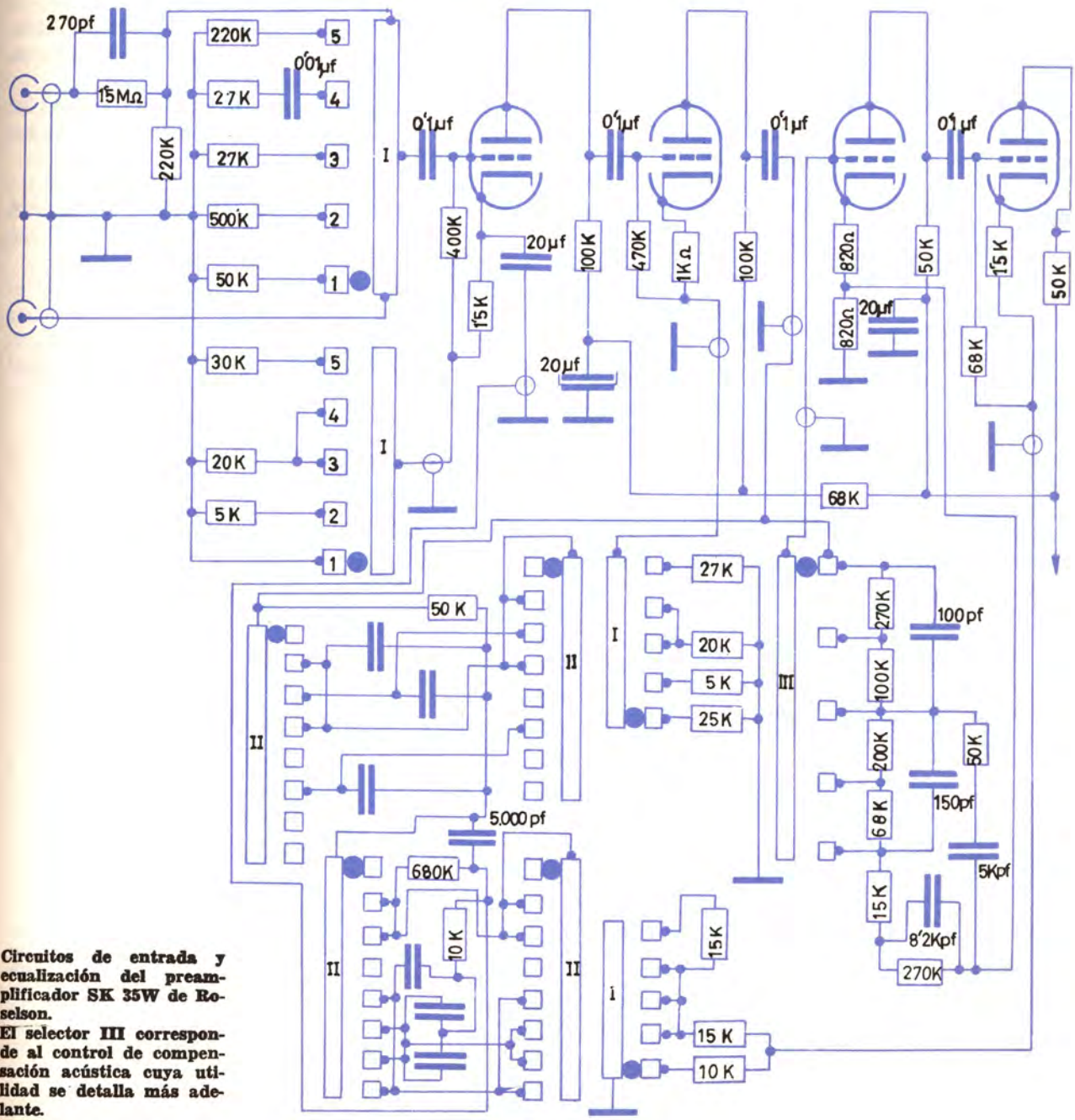
los surcos y mejorar la relación señal-ruido. En la reproducción deben eliminarse esas deformaciones; la compensación necesaria se realiza en una sección del preamplificador denominada *ecualizador*.

También se llevan a cabo en el preamplificador las correcciones de tono y compensaciones diversas de frecuencia.

El preamplificador puede constituir una unidad independiente del amplificador, o bien estar confinado en la misma unidad junto con los controles de que disponga el equipo.

Los componentes del preamplificador y su disposición pueden ser los mismos en ambos casos; pero en el caso de unidades independientes siempre existe mayor flexibilidad para el conjunto, además de resultar de más fácil solución algunos problemas, como el apantallado, vibración, supresión de zumbidos, etc.

Elegir para el sistema un preamplificador separado o incorporado no es problema de difícil solución, puesto que en ambas modalidades existen unidades capaces de dar excelentes resultados.



Circuitos de entrada y ecualización del preamplificador SK 35W de Roselson.
El selector III corresponde al control de compensación acústica cuya utilidad se detalla más adelante.

Entrada del preamplificador y ecualización

La entrada del preamplificador ha de prever la posibilidad de recibir información de todo tipo de fuentes de programa.

Las entradas comunes en la mayor parte de los preamplificadores de alta fidelidad son: cinta, radio, micrófono y fonocaptor.

Para cada una de estas fuentes existen diversas posibilidades. Por ejemplo, el fonocaptor puede ser cerámico o magnético, y según el caso serán considerablemente diferentes tanto en nivel de salida como en impedancia.

En un amplificador de calidad habrá, pues, que disponer de algunas entradas más que las enunciadas. Estas entradas podrían ser: fonocaptor magnético, fonocaptor de cristal o cerámico, micrófono de cristal, micrófono dinámico, cinta y radio y, finalmente, FM y TV. Además, muchos preamplificadores de esta calidad disponen de dos entradas para cada una de estas fuentes, con diferente sensibilidad o nivel de entrada, para conseguir una adaptación más precisa. Ya sabemos que la ecualización debe efectuarse cuando en la fuente existen deformaciones introducidas de forma intencionada.

En la reproducción de discos fonográficos vimos que las curvas de respuesta del ecualizador debían ser simétricas de las de grabación respecto a la ordenada de 0 db, para obtener una ecualización perfecta.

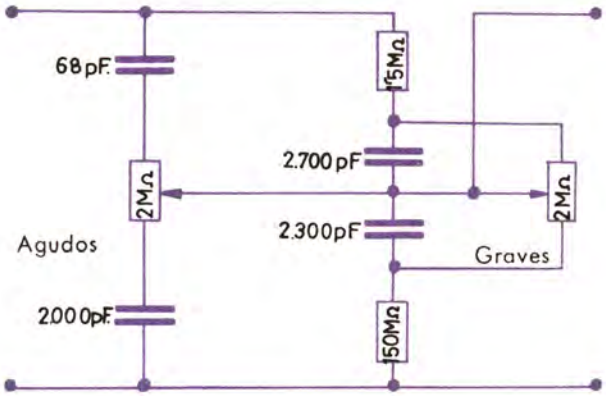
Esta característica se logra con filtros adecuados que atenúan determinadas frecuencias y en consecuencia acentúan otras.

En los esquemas se ilustran las secciones de entrada y ecualización correspondiente a dos preamplificadores de alta calidad.

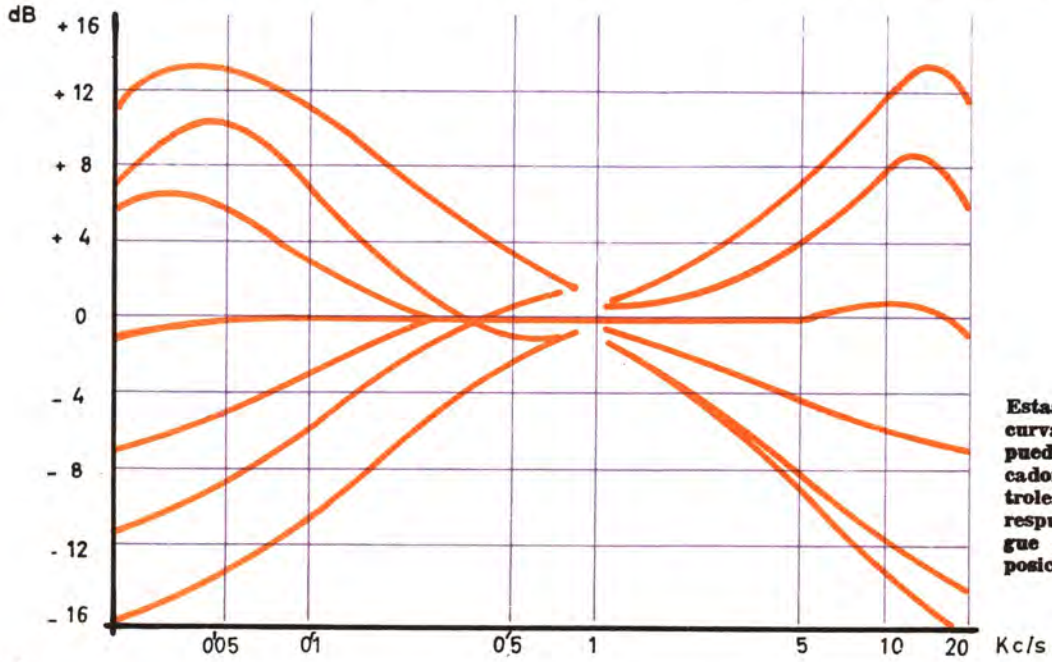
Controles de tono

Existe cierta variedad de controles de tono, algunos de ellos basados en la aplicación de realimentación negativa selectiva, tal como los que fueron descritos, por ejemplo, en la lección 24. En alta fidelidad, sin embargo, el circuito más utilizado es, con ligeras variantes, el debido a Baxandall cuyo esquema aparece en la figura inmediata.

Este circuito lleva control independiente de agudos y de graves, con lo que puede obtenerse a voluntad la atenuación o el realce de los tonos



Control de tonalidad tipo Baxandall.



Estas son las diversas curvas de respuesta que pueden darse al amplificador mediante los controles de tonalidad. La respuesta plana se consigue con los controles en posición media.

graves y agudos en relación con los tonos medios.

Cuando el control de agudos está al máximo y el de graves al mínimo el circuito se convierte en un filtro de paso alto que atenúa las frecuencias bajas. Si los controles están colocados a la inversa el circuito es un filtro de paso bajo; son ahora las frecuencias altas las que sufren atenuación. Con ambos controles en la posición media la respuesta del circuito es plana.

En fin, estas posibilidades pueden apreciarse en las diversas curvas de respuesta que se obtienen con diferentes ajustes de los controles que quedan ilustrados en la figura adjunta.

Filtros y otros controles

Algunas veces interesa amputar la gama de frecuencias reproducida para eliminar ciertas deformaciones introducidas en la señal.

Una de las causas que pueden aconsejar la reducción del ancho de banda en la parte de frecuencias altas puede ser el querer eliminar el ruido que provoca un disco que se ha tocado repetidas veces.

Cuando quiere evitarse el paso de determinadas frecuencias por un circuito, debe emplearse la solución de disponer filtros selectivos adecuados.

La misión de estos filtros es provocar un corte en la banda pasante, que en estos casos se practica en la zona correspondiente a las frecuencias altas. Con estos filtros se logra eliminar a voluntad las notas agudas a partir de un determinado valor de la frecuencia.

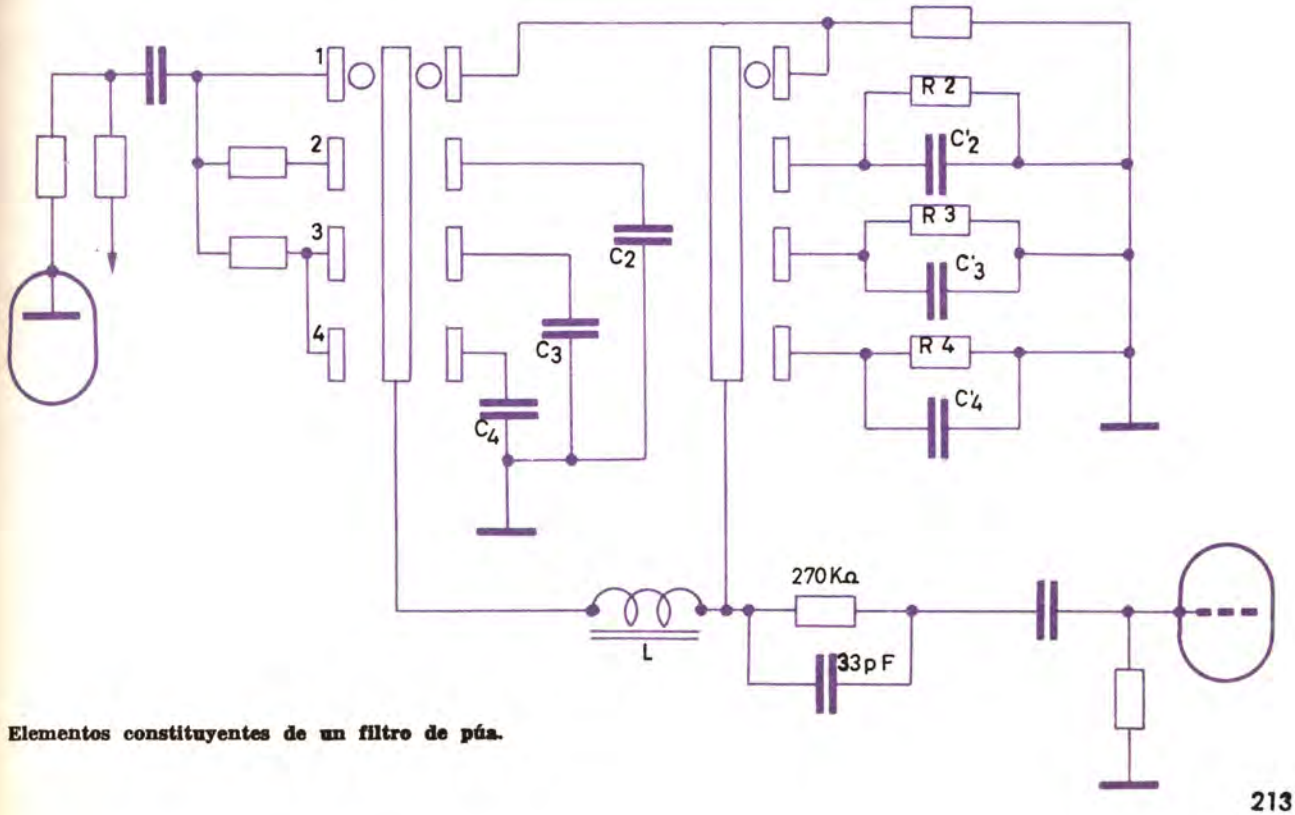
El esquema corresponde a uno de esos filtros.

En las posiciones 2, 3 y 4 del conmutador queda intercalado en la línea un filtro en π. Por ejemplo, en la posición 2 el filtro está formado por C_2, L y R_2—C'_2; en la posición 3 por C_3, L y R_3—C'_3, etc. En la posición 1 el filtro queda fuera de servicio.

El condensador de 33 pF en paralelo con la resistencia de 270 KΩ actúa como compensador de la atenuación de agudos que suponen las capacidades parásitas de la válvula y el circuito.

Esta disposición en cuatro posiciones del filtro supresor de ruidos es tal vez la más frecuente en los aparatos de alta fidelidad. En una de las posiciones, como hemos visto, no entra en servicio el filtro; las otras tres presentan por regla general unas frecuencias de corte aproximadas de 4, 7 y 12 kilociclos.

En ocasiones lo conveniente es, en cambio, reducir la respuesta en la parte de bajas frecuencias, para lo que se proveen también los filtros adecuados. De esta forma se puede eliminar, por ejemplo, el ronroneo que produce el motor del



Elementos constituyentes de un filtro de púa.

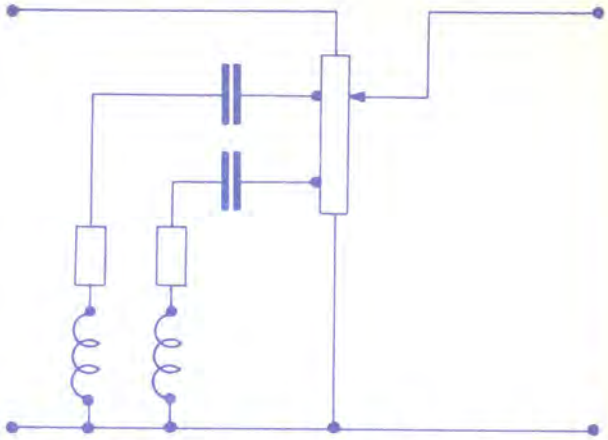
giradiscos, que es captado por el fonocaptor.

Otro dispositivo muy frecuente en los preamplificadores de cierta calidad es el llamado compensador del efecto Fletcher-Munson.

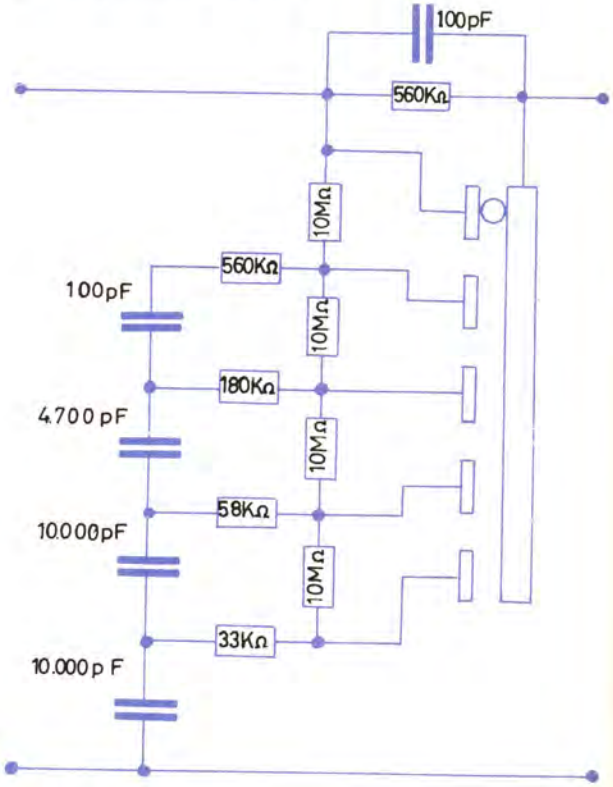
El aspecto de las curvas isofónicas o curvas de Fletcher-Munson pone claramente de manifiesto que la sensibilidad del oído a bajos niveles de sonoridad es menor para los tonos altos y bajos que para los medios. En cambio, para niveles altos de sonoridad la sensibilidad es aproximadamente igual a cualquier frecuencia. Ello es causa de que la reproducción musical a bajo nivel pierda brillantez y resulte pobre.

Para compensar la desigual sensibilidad del oído en esas circunstancias se provee al preamplificador de un dispositivo que acentúa el nivel de agudos y graves respecto de los tonos medios, y en ello en proporción mayor cuanto más bajo es el nivel sonoro de la reproducción. La compensación puede realizarse autómaticamente adicionando una serie de filtros al potenciómetro de volumen, que para este fin ha de estar provisto de varias tomas intermedias.

En otros casos el dispositivo está accionado por un control independiente y está intercalado entre dos etapas amplificadoras. Para acabar, indicaremos que cuando el preamplificador constituye una unidad independiente, y por tanto se conecta al amplificador de potencia mediante un cable apantallado, la última etapa del preamplificador suele ser un seguidor catódico, con lo que se obtiene una baja impedancia de salida eliminando de este modo los efectos de capacidad parásita debida al cable.



Potenciómetro de volumen provisto de tomas para la compensación acústica.



Control de compensación acústica empleado en el preamplificador McIntosh C-81P.

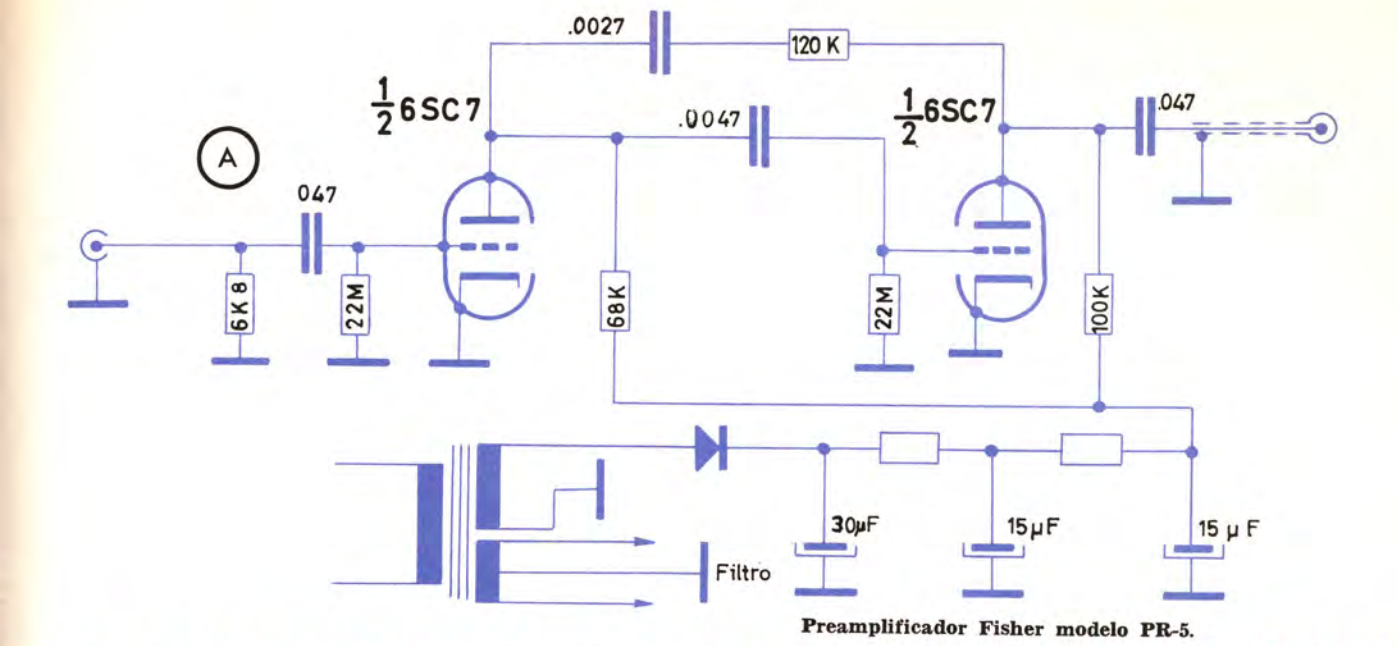
DESCRIPCION DE ALGUNOS PREAMPLIFICADORES

En la figura A puede verse el esquema del preamplificador Fisher modelo PR-5. Este preamplificador tiene una sola entrada y ecualiza para una curva de grabación media. El resto del esquema no tiene ninguna particularidad y es de suma sencillez.

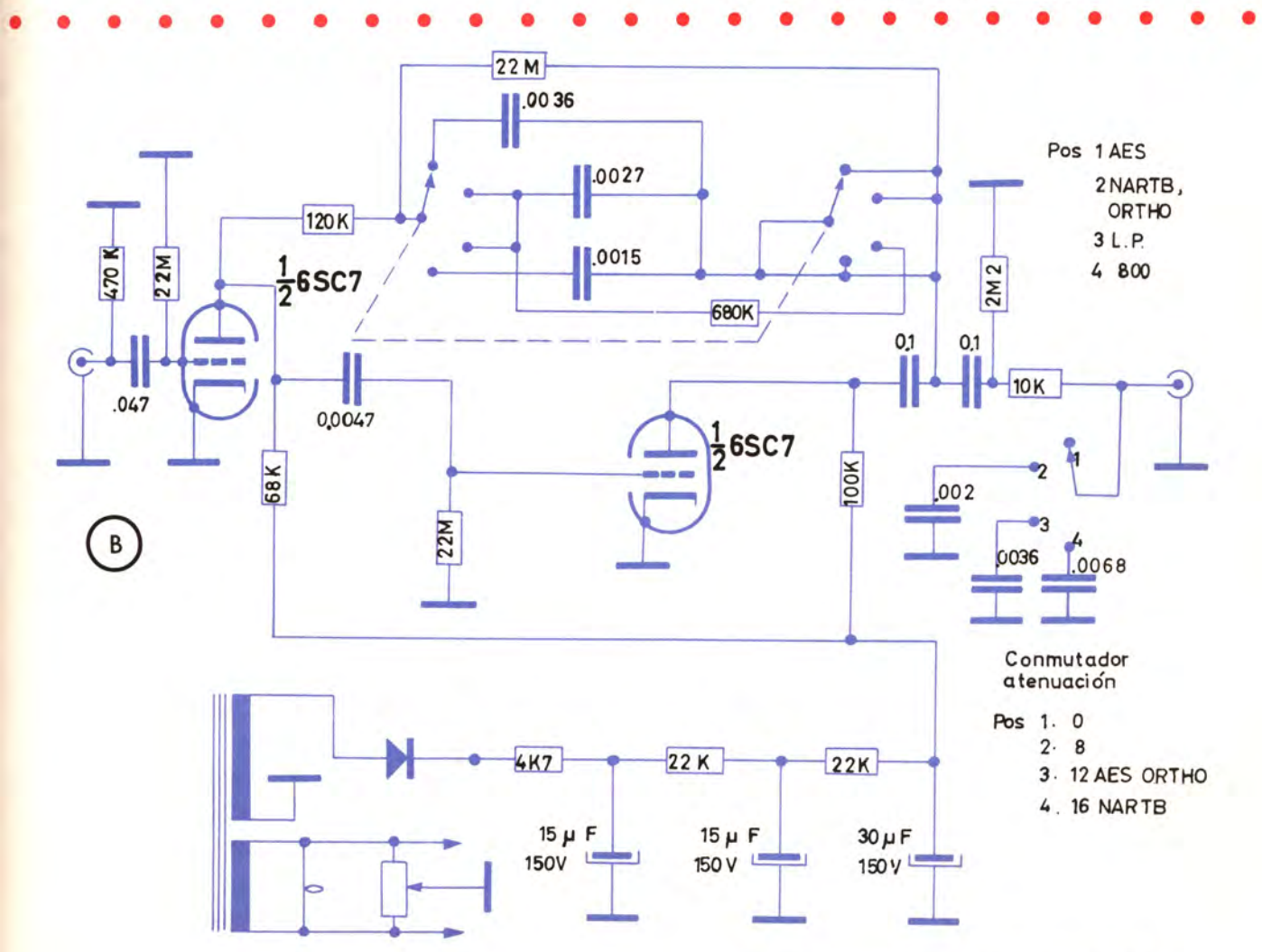
La figura B corresponde al esquema del circuito del preamplificador Fisher modelo 50-PR-2, bastante más elaborado que el anterior. Dispone de una entrada para cápsula magnética con ecualización en cuatro posiciones. Además contiene un atenuador para las frecuencias más agudas, provocando una pendiente más abrupta de la respuesta de frecuencia del amplificador en la parte superior de la gama.

La figura C es el esquema de un preamplificador más completo que los dos anteriores. Tiene un selector de entrada de seis posiciones. La amplificación se lleva a cabo por pentodos y la ecualización por realimentación negativa en la primera válvula.

La impedancia de entrada de cada uno de los



Preamplificador Fisher modelo PR-5.



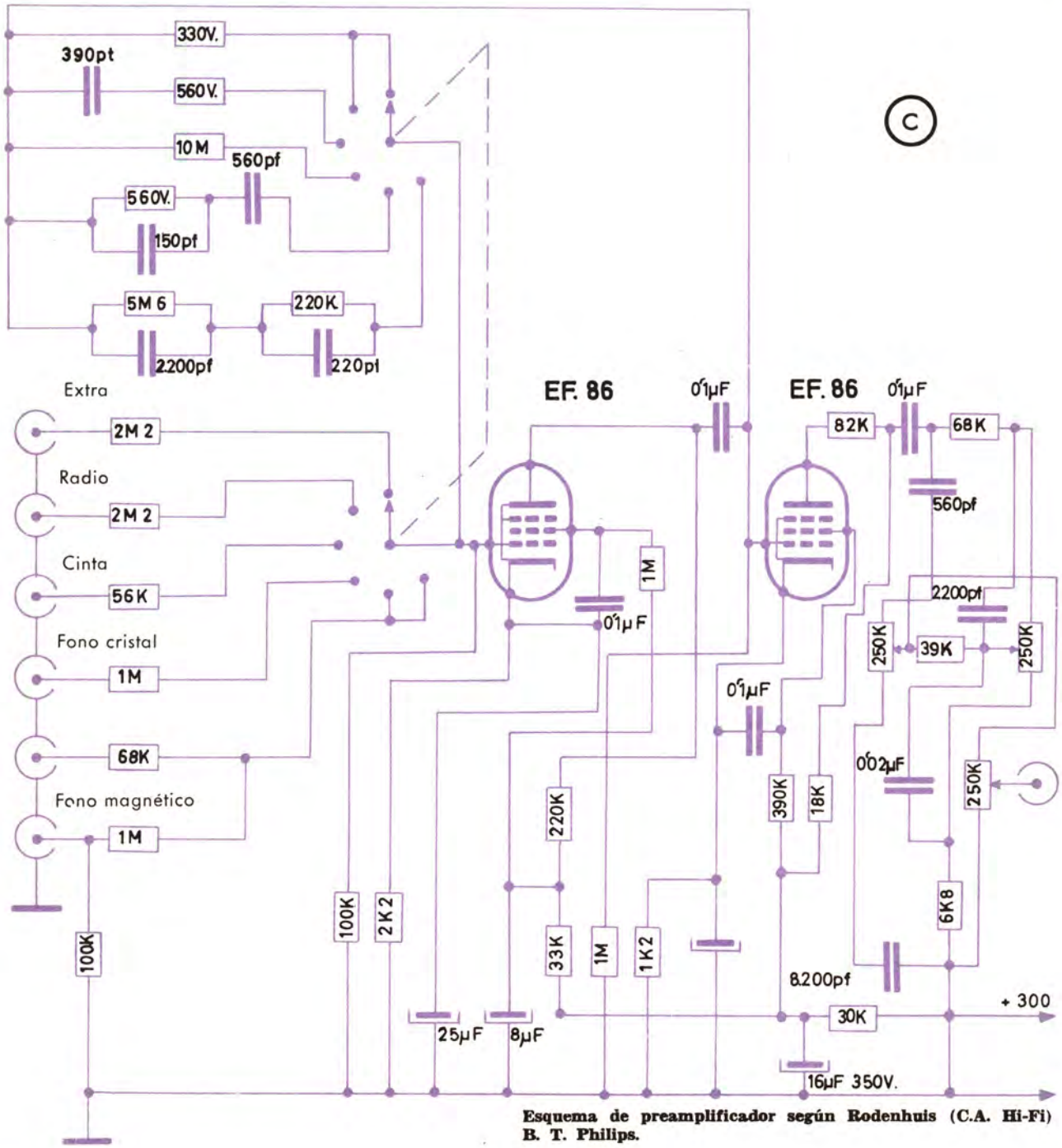
Preamplificador igualador Fisher modelo 50-PR-2.

canales puede variarse simplemente cambiando los valores de la resistencia en serie conectada a ellos. También puede variar la tensión de salida alterando la relación entre las dos resistencias conectadas a la placa de la válvula final en serie con la alimentación manteniendo siempre constante la suma de ambas. El control de tono es del tipo Baxandall.

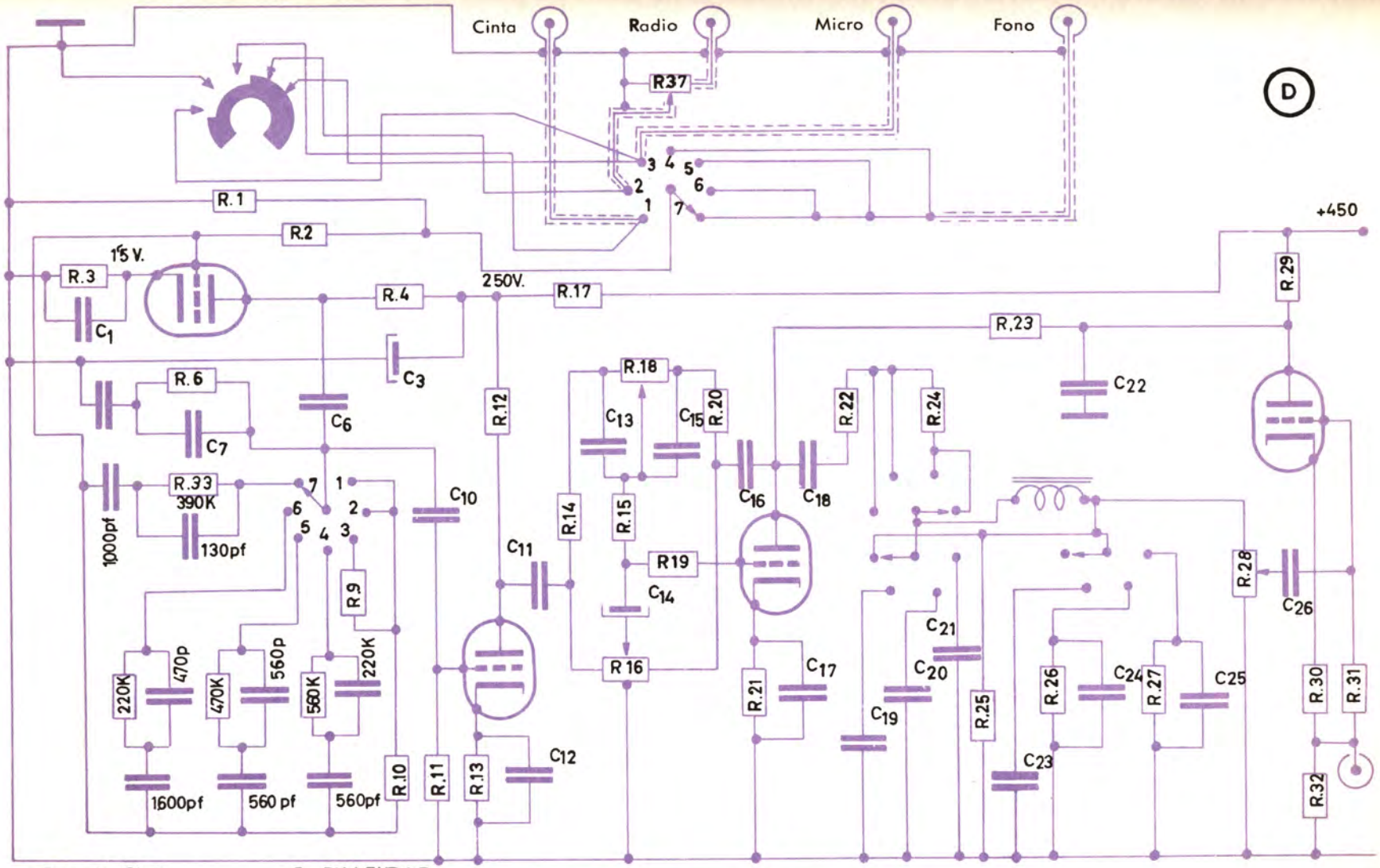
Finalmente, en la figura D indicamos el esquema de principio del preamplificador PYE modelo HF-25-A. El conmutador de entrada y el del ecualizador están unidos mecánicamente y tienen siete posiciones, cuatro de las cuales corresponden a la entrada del fonocaptor.

Los controles de tono son del tipo Baxandall. El circuito incluye además un filtro de ruido de púa similar al que hemos descrito anteriormente.

El paso de salida es un triodo montado como seguidor catódico para obtener baja impedancia de salida.



Esquema de preamplificador según Rodenhuis (C.A. Hi-Fi) B. T. Philips.



Pos. 1 Cinta
2 Radio
3 Micro
4 US.COL.L.P
5 RIAA.EUR.L.P.
6 US 78
7 EUR 78

Preamplificador Pye modelo HF-25-A.

DETALLES PRACTICOS A CONSIDERAR EN EL MONTAJE DE UN AMPLIFICADOR

Existen, desde luego, infinidad de amplificadores en el comercio preparados ya para ser utilizados en una cadena de Hi-Fi; pero también es abundante el material disponible para quien quiera armar su propio amplificador. Insertamos este apartado en vistas a esta última posibilidad.

Quien quiera armar su propio amplificador se encontrará primero con el problema de la elección del circuito que le sirva de base para el montaje. Existe también la posibilidad de diseñar el curcuito; pero a menos que se disponga de largos años de experiencia sobre diseños no aconsejamos recurrir a este extremo.

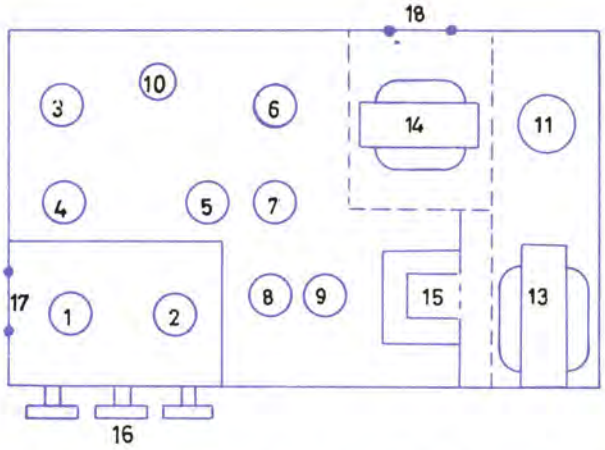
Lo más práctico, y por consiguiente lo más aconsejable, es elegir un circuito cuyo material sepamos que está a nuestra disposición en el mercado; y si es posible elegirlo entre los muchos que están respaldados por una marca de componentes con experiencia probada durante algunos años.

En el supuesto de que se reúnan estas condiciones, queda ahora la elección del esquema en concreto. Para ello téngase en cuenta que el amplificador ha de ser de categoría análoga al resto del equipo. De nada servirá tener un amplificador de gran potencia si el equipo de altavoces no permite que ésta se le aplique, o que el amplificador tenga una banda que no puedan reproducir los altavoces o que la fuente de programa no pueda suministrar. En definitiva, y reiterando una vez más lo dicho al principio de la parte correspondiente a este estudio de la Hi-Fi: la calidad de todas las unidades ha de ser parecida, y por tanto habrá que buscar un amplificador con características análogas al resto del equipo a que está destinado.

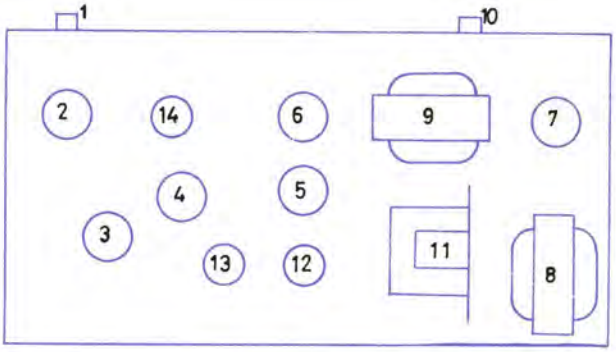
Quizá sea interesante hablar aquí de otra posibilidad además de las dos ya enunciadas: armar sólo el amplificador de potencia y comprar la unidad correspondiente al preamplificador. Esta es una posibilidad muy interesante, puesto que el preamplificador requiere un montaje muy cuidadoso para obtener una buena relación señal-ruido.

En fin, son cuestiones técnico-económicas que hay que decidir bajo el criterio de la calidad deseada y las posibilidades de cada cual.

Supongamos que ya hemos decidido entre las posibles soluciones y nos hemos procurado el esquema que consideramos adecuado para nuestros propósitos. Si el esquema elegido existe en *kit* nos darán el chasis preparado, y disponer en él las piezas es problema que nos presentan ya resuel-



Disposición del chasis para amplificador monofónico con preamplificador y alimentación.
1, 2 Tubos preamplificadores.
3, 4 Amplificadores de tensión.
5 Inversor.
6, 7 Etapas de salida.
8, 9, 10 Condensadores de filtro.
11 Rectificadora.
13 Transformadores de alimentación.
14 Transformador de salida.
15 Autoinducción de filtro.
16 Controles.
17 Entrada.
18 Salida.



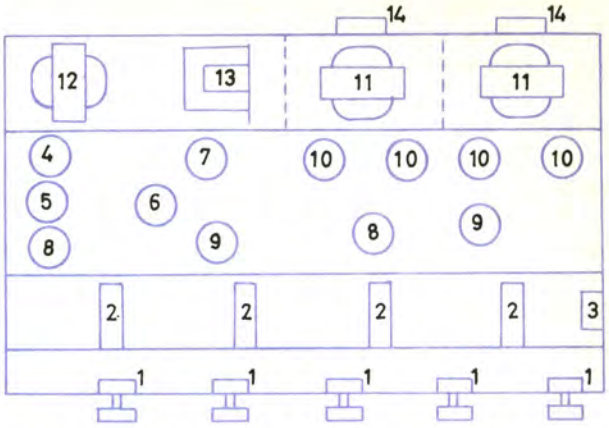
Disposición de los elementos en una unidad de potencia.
1 Entrada.
2, 3 Amplificador de tensión.
4 Inversor.
5, 6 Etapas de salida.
7 Rectificadora.
8 Transformador de alimentación.
9 Transformador de salida.
10 Salida.
11 Autoinducción de filtro.
12, 13, 14 Condensadores de filtro.

to. Si se ha creído que es mejor un esquema del que no existe chasis preparado para su montaje, hay que pensar en la forma de adaptar alguno.

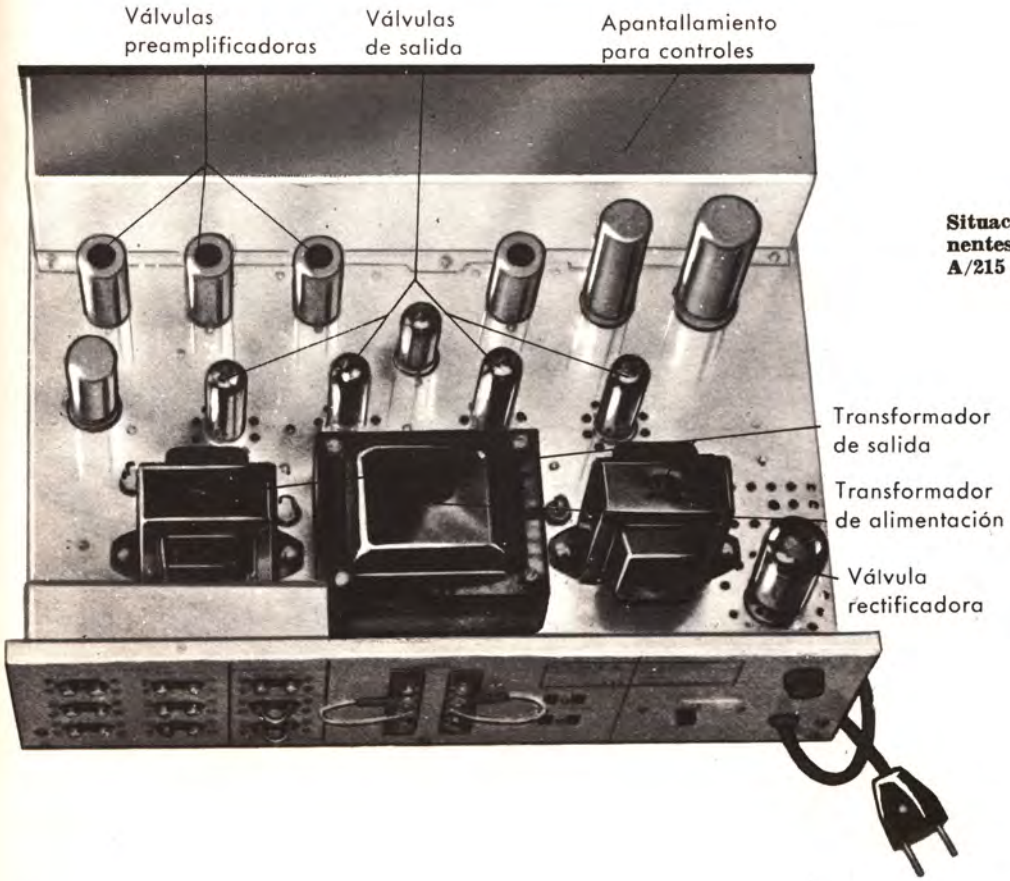
Preparar un chasis presenta el problema de disponer las piezas de la forma más adecuada para que no se introduzca zumbido en la cadena de amplificación. Sabemos sobre el particular que las conexiones largas favorecen la captación de zumbidos y que para tener conexiones cortas hay que acercar los componentes, lo que da facilidades también a la introducción de zumbido. Nos encontramos, pues, ante un dilema, y la mejor forma de solucionarlo será alejarse de las posibilidades extremas. Hay que elegir un chasis del tamaño suficiente para que las piezas o puntos que son posibles fuentes de zumbidos se encuentren lo suficientemente alejados de los puntos en los que éstos pueden introducirse; pero a la vez lo más pequeño que se pueda, cumpliendo las anteriores condiciones, con el fin de tener conexiones lo más cortas posibles.

Elegido el tamaño del chasis, veamos la manera de disponer en él los elementos.

Para general se disponen en el chasis las distintas piezas del montaje siguiendo el orden dado en el esquema y de izquierda a derecha, visto por



Disposición de los elementos en un amplificador estereofónico.
1 Controles.
2 Tubos preamplificadores.
3 Entradas.
4 Rectificadora.
5, 6, 7 Filtros.
8 Amplificador de tensión.
9 Inversores.
10 Etapas salida.
11 Transformador de salida.
12 Transformador de alimentación.
13 Autoinducción de filtro.
14 Salidas.



Situación de los diversos componentes en el amplificador Vieta A/215 (estereofónico).

el lado desde el que se ha decidido realizar el cableado. Esta disposición presenta la ventaja de que no existen bucles de retroceso para la señal a amplificar, lo que es siempre un punto a favor para eliminar el zumbido. Por este motivo, a igual tamaño de chasis es más adecuado un chasis alargado que otro de forma más o menos cuadrada.

Sabemos que la fuente de zumbidos más importante, es el transformador de alimentación y los puntos más peligrosos de cuantos pueden introducirlo son los circuitos de entrada. Estos dos puntos, fuente de alimentación y etapas de entrada, habrá que separarlos al máximo. Podemos, por ejemplo, colocar la entrada del amplificador en el extremo de la izquierda y la fuente de alimentación en el extremo derecho.

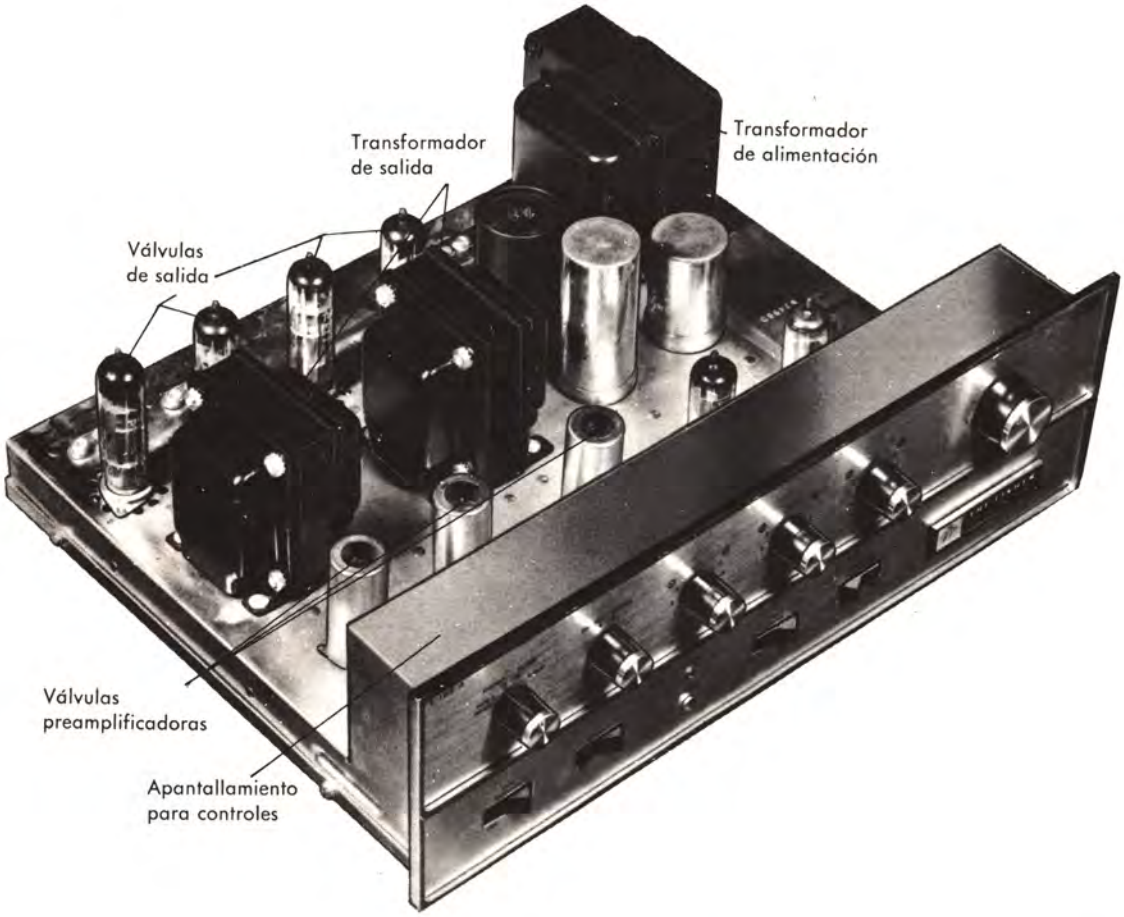
Dentro de lo que sea posible, es conveniente separar el transformador de alimentación del de salida.

Para evitar en lo posible inducciones mutuas se colocan estos transformadores de manera que sus núcleos queden perpendiculares entre sí, además de procurarles un blindaje magnético a cada uno.

Hay que tener un especial cuidado en la disposición de las primeras etapas, pues una pequeña dosis de zumbido introducido en ellas dará, al ser amplificado por toda la cadena, resultados inaceptables.

La colocación de los condensadores electrolíticos del filtro no es crítica en lo que a introducción de zumbido se refiere, tanto por parte de la pieza en sí como por el cableado que la une al resto del circuito. En su disposición deberá cuidarse tan sólo evitar colocarlos muy cerca de las válvulas, para que trabajen a temperatura lo más baja posible.

En cuanto a la disposición de las válvulas, ya se ha dicho que es conveniente colocarlas en el orden que aparecen en el esquema con el fin de evitar bucles de marcha inversa de señal en medio del chasis. Conviene que estén separadas entre sí como mínimo una distancia igual a su diátroles.



Situación de los componentes en el amplificador The Fisher X-100-A (estereofónico).

metro con el fin de facilitar la refrigeración. Colocarlas en este orden y forma, en general, supone también emplear conexiones más cortas.

Todo lo dicho es esencial en un amplificador de potencia. En un preamplificador habrá que tener en cuenta además la posición de los con-

Digamos unas palabras sobre este punto.

Las conexiones de los controles del preamplificador son los puntos más vulnerables para los zumbidos; y al ser estos puntos anteriores a la entrada del amplificador de potencia, si se introduce zumbido en ellos tendrá efectos intolerables en la salida. Hay que extremar, pues, los cuidados en estos puntos. La realidad, desde luego, es que no hay muchas posibilidades de variar la posición de estos controles, puesto que, guste o no guste, deben manejarse desde la parte frontal de la unidad.

Será por tanto aconsejable, en miras a la obtención de conexiones cortas, acercar al máximo las válvulas del preamplificador a la parte anterior del chasis. Muchas veces es conveniente, para que se cumpla este fin, disponerlas en posición horizontal de manera que los lados de conexión de los soportes queden frente a los puntos de conexión de los controles.

Si el preamplificador está separado del amplificador de potencia los problemas quedan reducidos, puesto que las fuentes de zumbido más importantes quedan bastante alejadas; sólo quedan por considerar las conexiones de calefacción de filamentos.

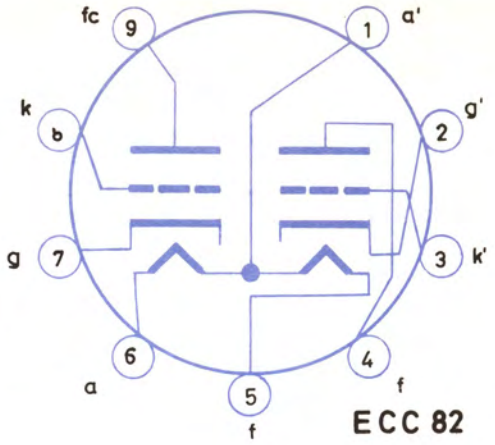
Si el preamplificador forma una sola unidad con el amplificador de potencia, inevitablemente habrá que colocar el preamplificador en el lado opuesto del chasis del que ocupe la etapa de salida, teniendo que desplazar los controles hacia este mismo lado.

En el caso de amplificadores estereofónicos, en los que la disposición alargada del chasis es casi imposible, puesto que ocuparía una longitud demasiado grande, es conveniente disponer el preamplificador en la parte anterior y el amplificador de potencia en la posterior junto a la fuente de alimentación. También adoptan esta disposición muchos amplificadores monofónicos, en los que toda la parte de alimentación y transformador de salida se ubican en el fondo mismo de la

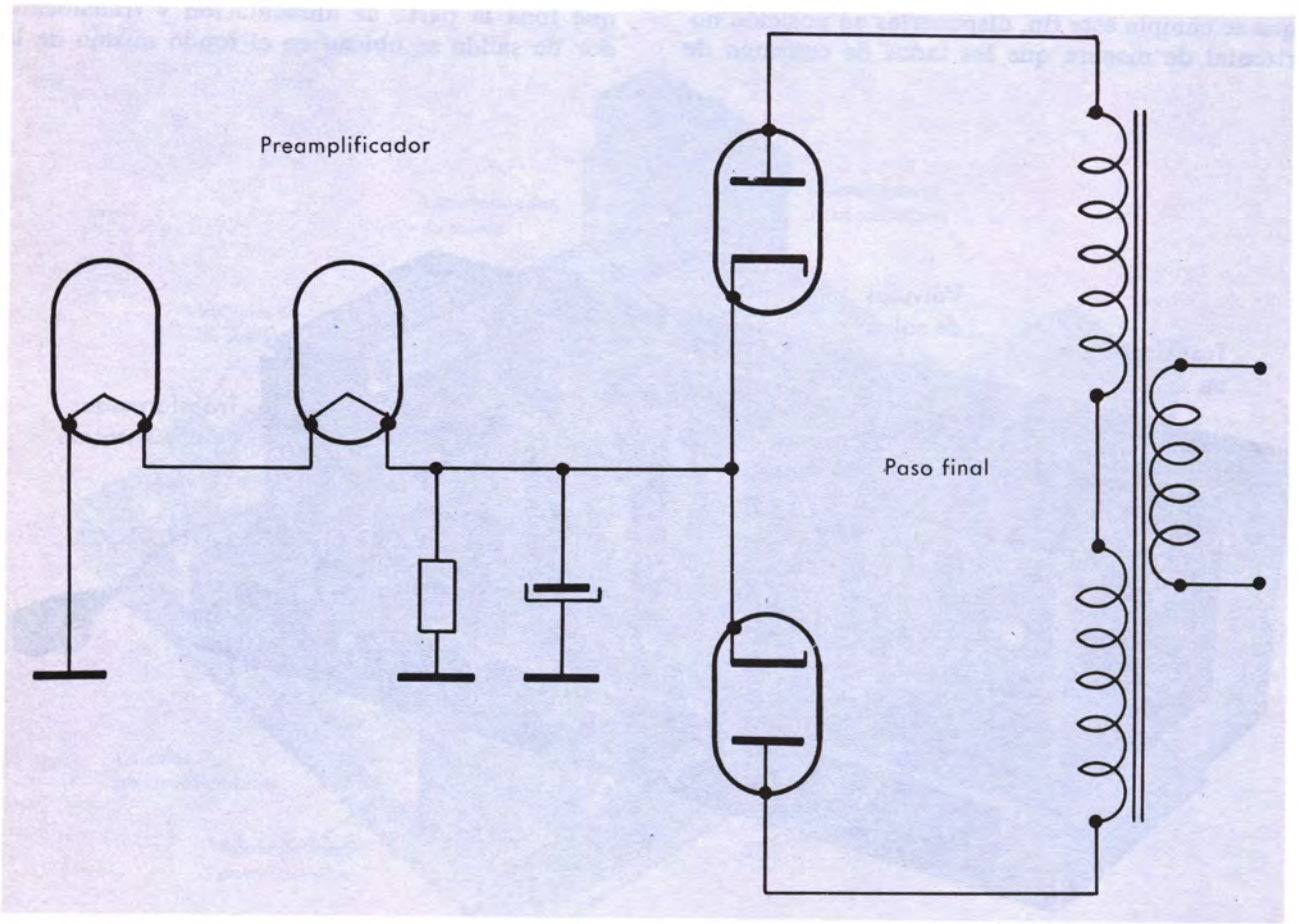
Situación de los diversos componentes en el amplificador Roselson SK12W (monofónico).

unidad y se separan entre sí y del resto del material por un blindaje magnético. En las figuras se encuentran algunas posibilidades aconsejables.

En cuanto al alambrado, se ha de procurar sobre todo evitar que la línea de filamentos pueda inducir tensiones de zumbido en los puntos sensibles del circuito. En el amplificador la línea de filamentos se hará con cable trenzado y se hará masa a través del punto medio del secundario de 6'3 V del transformador de alimentación. Esa precaución no es suficiente en el preamplificador; es preciso utilizar corriente continua para alimentar los filamentos, pues la corriente alterna induce de filamentos a cátodo una tensión de zumbido que, aunque muy débil, al ser luego amplificada por los pasos sucesivos alcanza un valor intolerable cuando llega al altavoz.



Los electrodos indicados con superíndices (a', g' y k') corresponden al triodo más desfavorable respecto al zumbido.



Una solución para alimentar con c.c. los filamentos de las válvulas del preamplificador es alimentarlos a partir de la tensión de cátodos del paso final. Un ejemplo de esta disposición es el amplificador The Fisher X-100-A.

A este respecto es conveniente advertir, cuando en el montaje se utilizan dobles triodos, que una de las dos unidades suele ser más sensible al zumbido de filamento que la otra, y por tanto se utilizará como segundo paso de amplificación. El fabricante indica en las características cuál de las dos unidades es la menos ventajosa desde el punto de vista del zumbido, escribiendo con un superíndice los electrodos correspondientes a esa mitad.

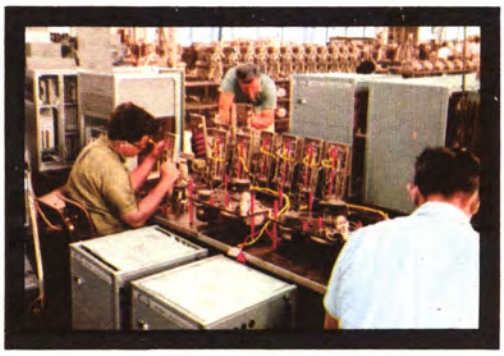
Cuando el preamplificador constituye una unidad independiente la corriente continua para los filamentos se suministra por la fuente de alimentación, que lleva un rectificador adicional; pero si por el contrario forma una sola unidad con el amplificador, es frecuente que los filamentos de las válvulas del preamplificador formen parte de la resistencia de cátodo del paso final, con lo que el problema se resuelve de una forma muy elegante y eficaz.

* * * *

LECCION 49

El sonido estereofónico
Registro estereofónico sobre cinta y sobre disco
Discos compatibles
Dispositivos de reverberación

electronia radio + tv



alta fidelidad 6

SONIDO ESTEREOFONICO

Hemos hablado repetidas veces del sonido estereofónico sin entretenernos nunca en analizar en lo que consiste.

En lo que sigue llevaremos a cabo este análisis, estudiando qué es el sonido estereofónico y de qué forma puede conseguirse.

¿Qué es el sonido estereofónico?

Empecemos por aclarar esta cuestión. Para ello recuerde que, en el estudio que hemos efectuado, hemos considerado el sonido no sólo en su aspecto de fenómeno físico, sino también desde el punto de vista fisiológico, y que encontramos la forma de medir cada una de sus cualidades físicas en cuanto a tal y el modo de evaluar la sensación que nos producía.

Llegando a este punto es preciso indicar que un sonido real posee otras propiedades que no hemos mencionado y que tienen la correspondiente repercusión fisiológica en nuestro sentido auditivo. Estas características determinan de forma aproximada, y sin necesidad de verla, la situación en el espacio de una fuente sonora.

Supongamos, para concretar la idea, dos fuentes sonoras. Una, situada muy cerca de nosotros, emite una onda sonora de frecuencia f y de poca intensidad; y otra más alejada emite una onda de la misma frecuencia f y de poca intensidad. Supongamos, además, que la relación entre las intensidades de los dos sonidos y las distancias de donde proceden es tal que percibimos las dos ondas con la misma intensidad.

Físicamente consideradas, estas dos ondas tienen la misma intensidad y frecuencia; luego son idénticas. Sin embargo, ¿quién, con un mínimo de atención, no podrá determinar si el sonido que percibe pertenece a la fuente lejana o a la cercana? Aún más, si las dos fuentes están situadas en distintas direcciones, ¿quién no será capaz de fijar de una forma bastante exacta las direcciones de donde procede cada uno de los sonidos?

Si oímos que alguien grita pidiendo auxilio, ¿quién de nosotros, poseedor de un oído normal, no podrá determinar de qué dirección proceden los gritos y si el punto de procedencia es próximo o lejano?

De lo anterior deducimos, pues, que además de las cualidades físicas de intensidad, tono y timbre que hemos considerado existen en los sonidos reales otras cualidades detectables por nuestro oído, y que mediante estas cualidades el oído es capaz de proporcionarnos una sensación de distribución espacial para el sonido. Estas características confieren al sonido real un sentido tridimensional, un sentido espacial, un sentido de relieve; en definitiva, un sentido estereofónico.

Así, pues, diremos que un sonido tiene características estereofónicas; o dicho de otra manera, diremos que un sonido es estereofónico cuando contiene las características necesarias para que pueda darnos un sentido de espacialidad o de relieve.

Con ello vemos que los sonidos reales —es decir, los que percibimos al salir a la calle y que llegan directamente a nosotros desde el foco original que los produce (queriendo significar por foco original que éste no puede ser ningún elemento reproductor de sonido como son los altavoces)— constituyen sonidos estereofónicos, ya que a todos ellos podemos atribuirles un relieve; es decir, una distribución espacial.

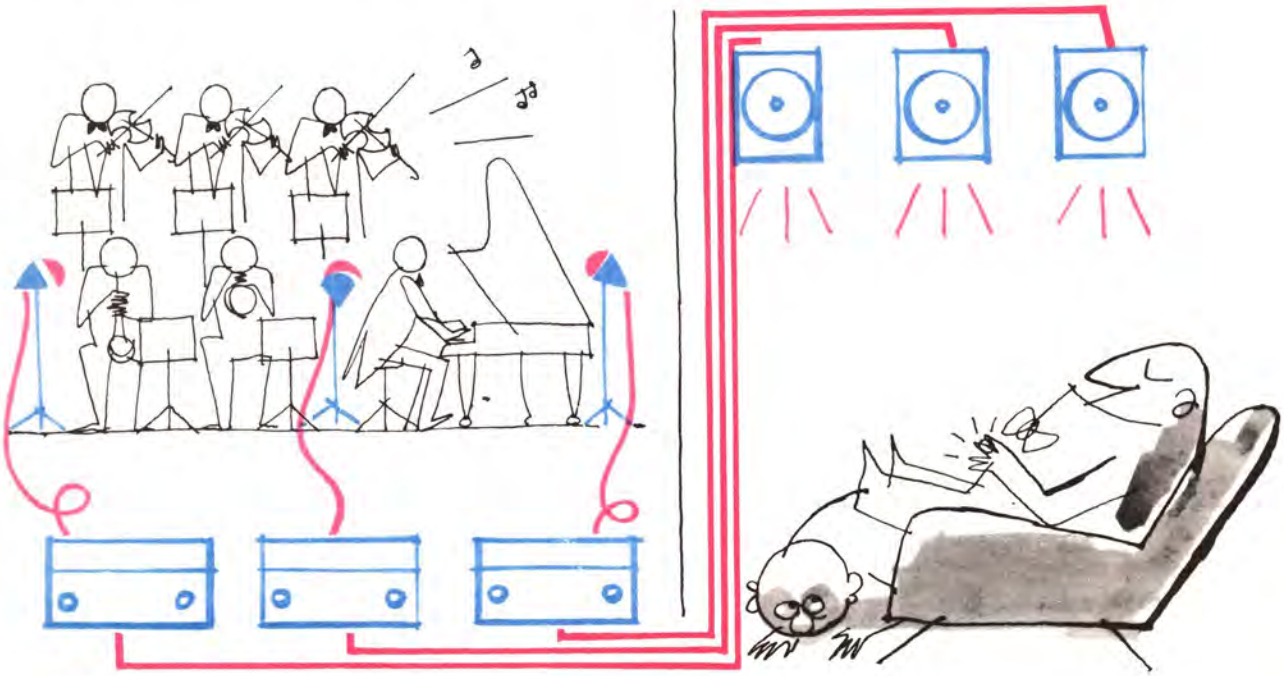
Los equipos monofónicos que hasta ahora hemos estudiado no tienen esta cualidad estereofónica, ya que todos los sonidos que reproducen proceden siempre del mismo punto, aquel donde está ubicado el altavoz. Sin embargo, en el momento de grabar los sonidos llegaban al micrófono desde distintos puntos.

REPRODUCCION ESTEREOFONICA DEL SONIDO

La idea de conferir a la reproducción del sonido esa cualidad de relieve o distribución espacial no es precisamente nueva. Los primeros intentos datan de 1933 y se deben a Fletcher.

Partió de la idea de que pretender reproducir, por ejemplo, el sonido de una orquesta con un equipo monofónico —es decir, mediante un solo amplificador y un solo altavoz o juego de altavoces— es en cierta forma lo mismo que escuchar a la orquesta a través de un agujero de la sala de conciertos. En estas circunstancias, cualquiera que sea la distribución de los instrumentos en el escenario, el oído percibe los sonidos como provenientes del mismo punto: el mencionado agujero. Es decir, el altavoz.

Para remediar la situación Fletcher pensó en distribuir una batería de micrófonos a lo largo del escenario y frente a la orquesta, y en la sala de reproducción otros tantos altavoces unidos a los micrófonos por sendos amplificadores. En la comparación antes indicada esta disposición equivaldría a agrandar tanto el agujero practicado en la pared que prácticamente el auditor podría considerarse en la propia sala de conciertos.



Sistema de reproducción propuesto por Fletcher.

En la práctica Fletcher hubo de contentarse, por razones de índole económica, con realizar su experiencia con sólo tres equipos monofónicos. Es decir, dispuso tres micrófonos frente a la orquesta, uno a cada lado del escenario y otro en el centro, y situó de la misma forma los tres altavoces en la sala de reproducción.

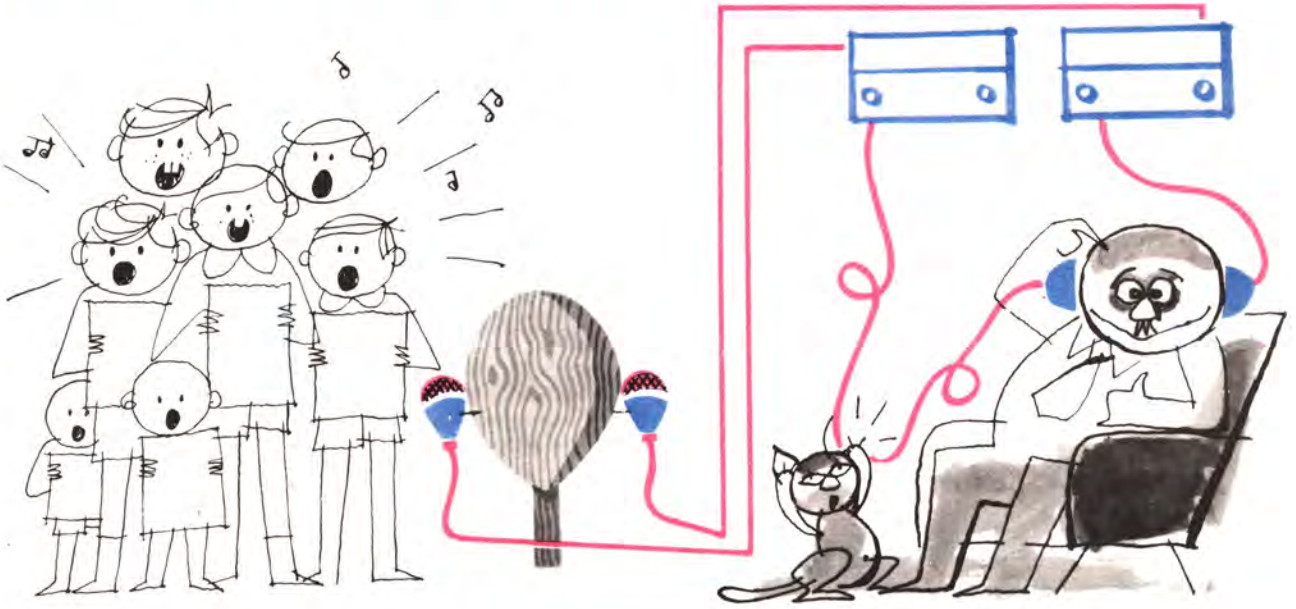
A pesar de tan parcos medios los resultados fueron excepcionalmente buenos: la reproducción ofrecía en alto grado la cualidad estereofónica de la audición directa, mucho más de lo que hacían prever las precarias condiciones en que se llevó a la práctica la idea original.

Experiencias posteriores pusieron de manifiesto que cuando alguien localiza, mediante el oído la situación de una fuente sonora, ello se debe a que los sonidos que proceden de ella no afectan por igual a los dos oídos del auditor. En efecto, a menos que esa fuente sonora esté situada justamente frente a la persona que la percibe, los sonidos tardan más en llegar a un oído que al otro, pues uno de los dos quedará más alejado; además, por el efecto de pantalla de la cabeza, un oído percibe el sonido con menos intensidad que el otro.

Esas dos circunstancias, debidas a que la audición es binaural —es decir, mediante dos oídos—, confieren en buena parte la cualidad de estereofonía al sonido natural.

Partiendo de aquí, De Boer realizó otro principio de reproducción estereofónica distinto del de Fletcher: dispuso frente a la orquesta un objeto de madera en forma de cabeza cuyos oídos estaban constituidos por dos micrófonos, que aplicaban independientemente la señal a cada uno de los auriculares de un casco telefónico que utilizaba el oyente. La sensación de estereofonía resulta muy buena, pues de hecho es como si el oyente estuviese situado en el «auditórium». Para hacer extensiva la audición estereofónica a varias personas se sustituyen los auriculares por altavoces; pero entonces es preciso cuidar la situación relativa entre éstos y los oyentes, que de otra forma no perciben los sonidos con las diferencias originales en intensidad y tiempo con que llegan a la cabeza artificial.

Este es, con diversas variantes, el principio de reproducción estereofónica hoy en día utilizado. Las variantes se refieren a las diversas formas de disponer los dos micrófonos, siempre bastante juntos, pero no siempre a los lados de una cabeza artificial y que no siempre tienen iguales características por lo que se refiere a la sensibilidad y directividad.



Experiencia de De Boer.

COMO SE LLEVA A CABO EL REGISTRO ESTEREOFONICO

Una vez convenientemente colocados los dos micrófonos, el registro consiste en llevar la señal procedente de cada uno de ellos a algún sistema que grabe ambas simultáneamente.

Los dos tipos de registro que hemos estudiado son el disco y la cinta magnetofónica. Veamos cómo se realiza el registro estereofónico en cada uno de ellos.

REGISTRO ESTEREOFONICO SOBRE LA CINTA MAGNETICA

Durante el estudio de los magnetófonos describimos unas cabezas de registro dobles; es decir, unas cabezas con dos sistemas magnéticos superpuestos separados entre sí aproximadamente 1/4 del ancho de la cinta. Estas, dijimos, son las cabezas de que disponen los magnetófonos con cuatro pistas de registro.

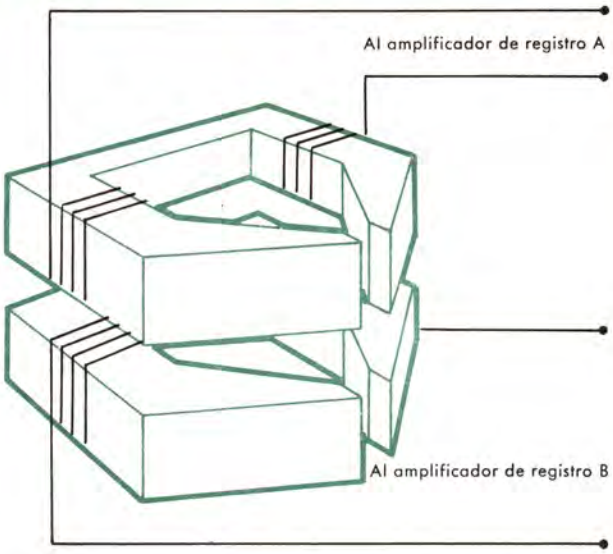
Con todos los elementos de que disponemos la grabación estereofónica resulta sumamente fácil. En el registro del sonido estereofónico queremos grabar dos canales a la vez, para lo cual se necesitan dos cabezas y dos pistas en la cinta magnética; y disponemos de una cabeza de registro con dos sistemas magnéticos equivalente a dos cabezas independientes y de una cinta que puede registrar a un mismo tiempo en dos pistas. Tenemos, por tanto, todos los elementos que nos hacen falta.

Haremos que un micrófono actúe sobre uno de los sistemas magnéticos de la cabeza mediante el conveniente amplificador de registro y que el segundo micrófono actúe sobre el otro sistema magnético, también por medio de otro amplificador de registro independiente del anterior. De esta forma quedan simultáneamente registrados los dos canales, como se pretendía.

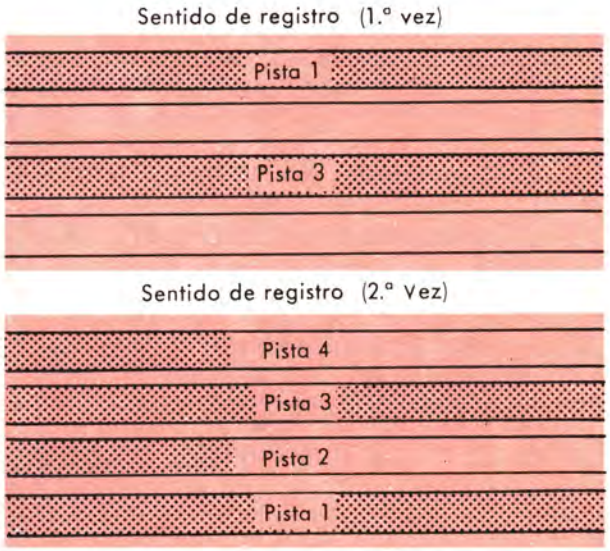
Recuerde que al efectuar esta operación de registro se graban las pistas 1 y 3 de la cinta; al darle la vuelta y cambiar de posición el carrete se lleva a cabo el registro en las pistas 2 y 4.

El registro de sonido estereofónico en cinta magnetofónica queda, pues, resuelto mediante un magnetófono con cabeza doble y dos amplificadores de registro independientes.

Las características de cada uno de estos elementos, son exactamente iguales a las que tienen los correspondientes de un magnetófono monoaural.



Cabeza magnética doble adecuada para la grabación y reproducción estereofónica.



EL MAGNETOFONO ESTEREOFONICO

No todo consiste en grabar la cinta magnética: tenemos que extraerle la información registrada.

Como ocurría con los magnetófonos ordinarios, la cabeza de lectura y el amplificador de reproducción cumplen con tal misión; pero en el magnetófono estereofónico la cabeza de lectura debe tener un circuito magnético doble para leer simultáneamente las dos pistas registradas. Además, sabemos que hay que amplificar por separado las dos señales que proporciona esa cabeza, y por tanto se necesitan dos amplificadores de reproducción con sendos altavoces.

La cabeza lectora puede estar separada de la cabeza de registro o constituir una sola unidad. Lo mismo podríamos decir respecto a los amplificadores de reproducción con relación a los amplificadores de registro.

En resumen, un magnetófono estereofónico está provisto de dos amplificadores para el registro, una cabeza de registro con doble sistema magnético, una cabeza lectora también doble (que

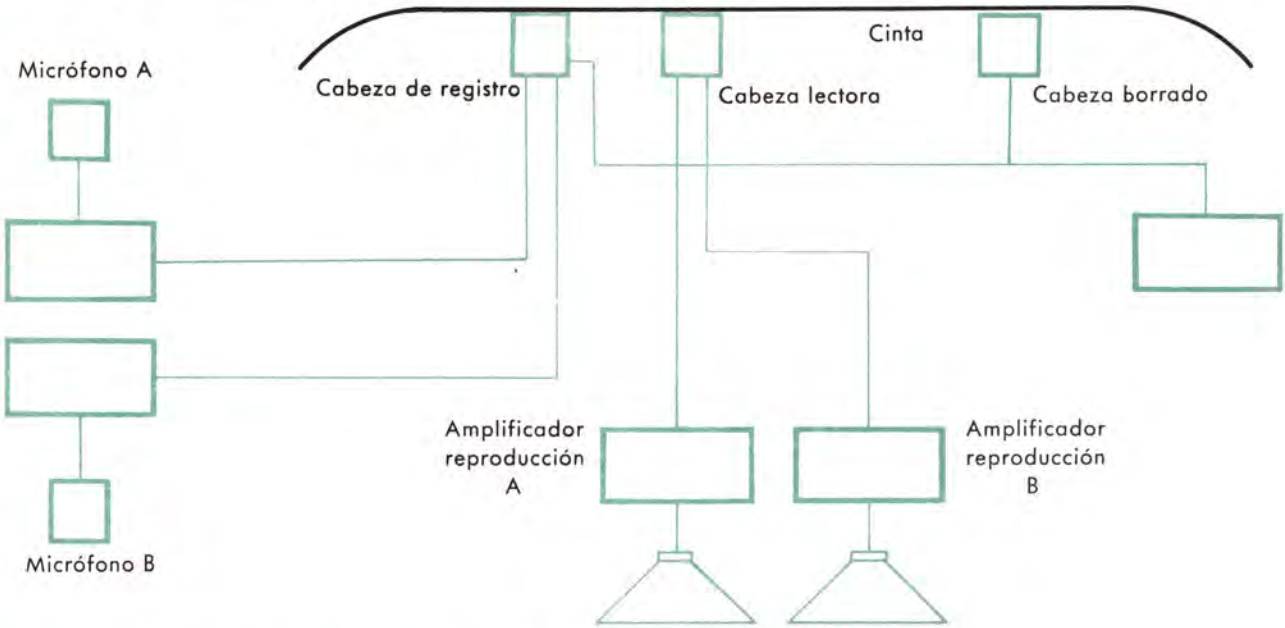
puede ser independiente o ser la misma que se emplea para el registro) y dos amplificadores para la reproducción (que pueden ser los mismos amplificadores de registro, conmutando sus funciones, o pueden ser dos amplificadores separados).

Estos elementos constituyen la base que posibilita el registro y reproducción del sonido estereofónico. Pero además de estos elementos deben existir otros auxiliares: cabeza de borrado y oscilador.

La cabeza de borrado está constituida por dos sistemas de borrado iguales de las mismas características que la cabeza de borrado del magnetófono monofónico. La cabeza de borrado de un magnetófono estereofónico es, pues, una unidad constituida por dos cabezas de borrado simples idénticas a las que emplean los magnetófonos ordinarios y separadas entre sí por una distancia igual a la que separa las dos pistas alternas de la cinta que se registran en una pasada.

Para conseguir que la cinta trabajara en la zona lineal de su característica magnética se precisa, como usted sabe, la corriente de preimanación que suministra un oscilador. En el magnetófono estereofónico se precisa corriente de preimanación para los dos sistemas magnéticos de la cabeza, pero estas dos corrientes no proceden de dos osciladores separados, sino de un solo oscilador de alta frecuencia, pues así queda excluida toda posibilidad de heterodinación producida por las posibles diferencias de frecuencia entre los dos osciladores independientes que conducirían a una frecuencia resultante audible.

Con estos quedan descritos todos los elementos que forman parte de un magnetófono estereofónico. Por ser cada uno de ellos en su forma constitutiva exactamente igual a los descritos en el magnetófono monofónico, no es necesario, por tanto, hacer aquí su estudio.



Esquema en bloques de un magnetófono estéreo con cabezas de lectura y grabación separadas y amplificadores de grabación y reproducción también separados.

GRABACION DEL SONIDO ESTEREOFONICO EN DISCO

Discos estereofónicos

Si queremos grabar los dos canales en el disco, parece lógico pensar que se precisaría de dos grabadores, dos estiletes y dos surcos del disco. La técnica ha resuelto esta difícil papeleta de una forma mucho más fácil: el registro de los dos canales se lleva a cabo con un solo grabador con dos sistemas magnéticos, con un solo estilete y, naturalmente, empleando un solo surco.

Los discos que presentan esta característica, es decir, tener registradas dos informaciones en el mismo surco, son los que llamamos discos estereofónicos. Los discos estereofónicos son en apariencia iguales a los normales, de los que sólo se diferencian en la información que llevan en los surcos y en la forma en que está contenida esta información.

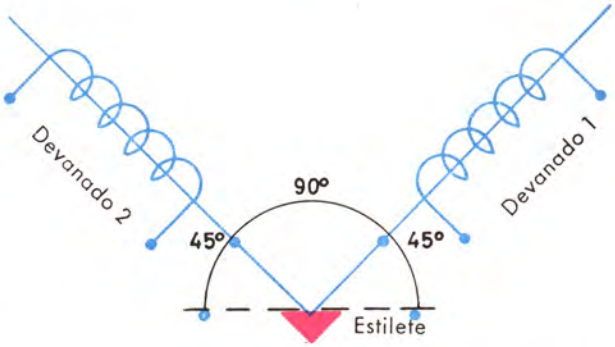
COMO SE REGISTRAN LOS DOS CANALES EN UN SOLO SURCO

El método adoptado para el registro estereofónico en disco es el conocido como sistema 45/45.

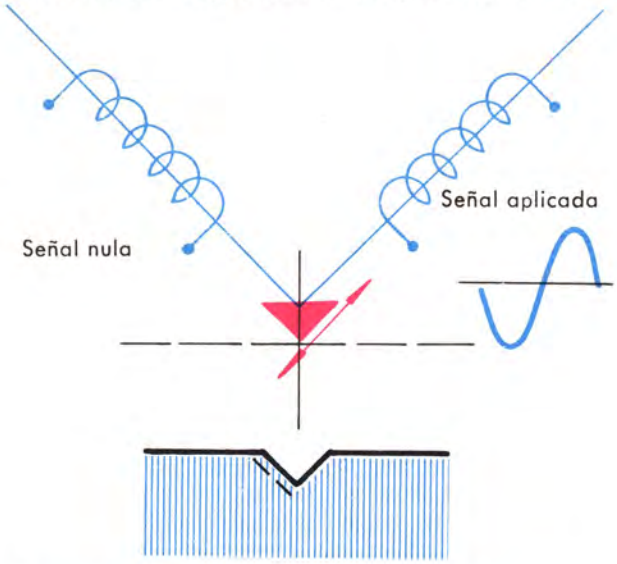
La cabeza de registro tiene un solo estilete unido mecánicamente a los núcleos de dos bobinas, como se indica en la figura de forma esquemática. Aunque también pueden emplearse grabadores de cristal, por general se utilizan los magnéticos, a los que nos referiremos aquí.

Estudiemos el funcionamiento de esta cabeza de grabación estereofónica.

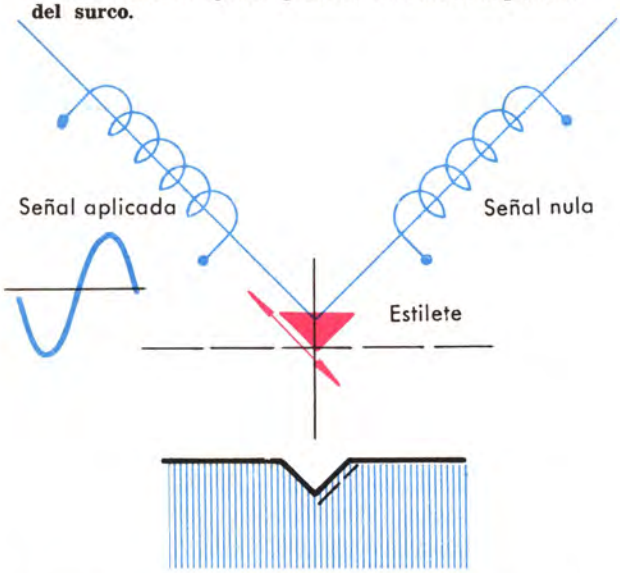
Las salidas de cada uno de los micrófonos, convenientemente amplificadas, se aplican a los de-



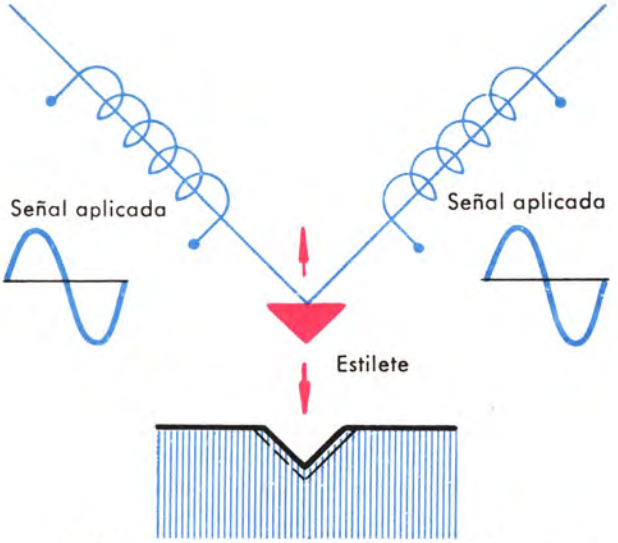
Grabador estereofónico en forma esquemática.

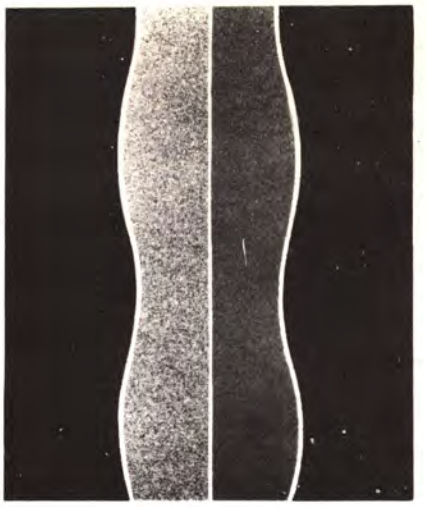


Movimiento del estilete cuando se excita solamente la bobina 1. Queda grabado el flanco izquierdo del surco.

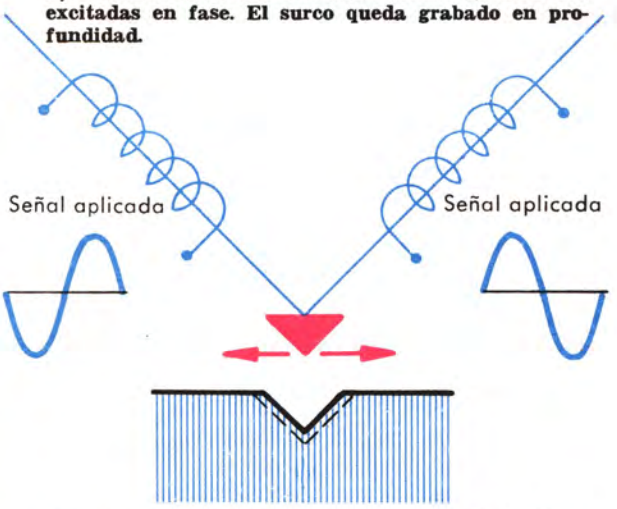


Movimiento del estilete cuando se excita solamente la bobina 2. Queda grabado el flanco derecho del surco.

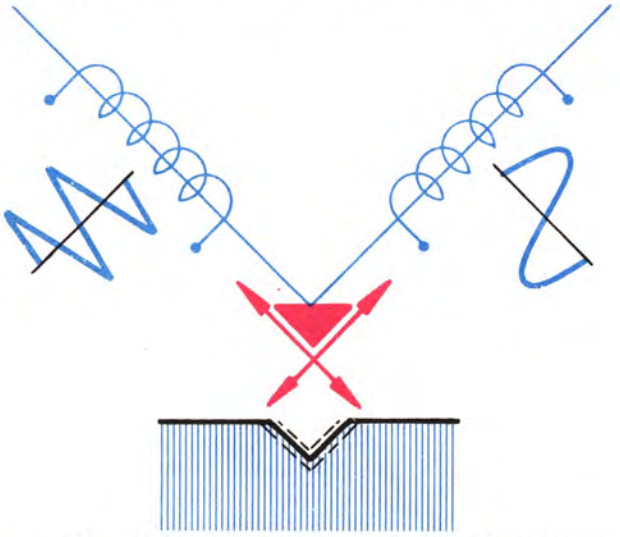


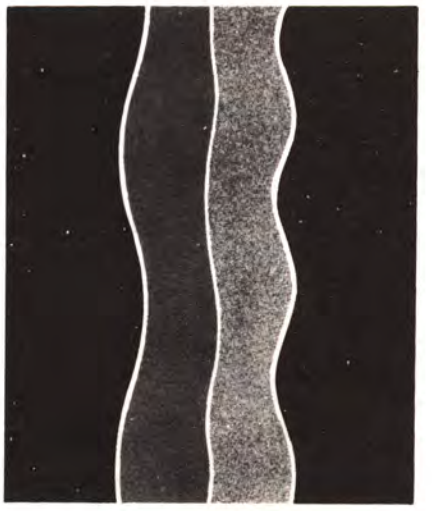


Movimiento del estilete cuando ambas bobinas son excitadas en fase. El surco queda grabado en profundidad.



Movimiento del estilete cuando las bobinas son excitadas en contrafase. El surco queda grabado lateralmente.





Movimiento del estilete cuando las bobinas están excitadas por señales distintas. El surco queda grabado estereofónicamente.

vanados números 1 y 2 de la cabeza de registro.

Cuando el micrófono 1 recibe señal, sin que ocurra lo propio con el 2, pasa corriente por la bobina 1 y la armadura desciende, lo que obliga al estilete a realizar un movimiento, como el representado en la primera figura, que graba la parte izquierda del surco.

Cuando sólo recibe señal el micrófono 2 pasa corriente por la bobina 2 y el movimiento de la armadura obliga a que el estilete se desplace como se indica en la segunda figura, quedando así registrada la cara lateral derecha del surco.

Supongamos ahora que los dos micrófonos reciben señales en fase de la misma intensidad. En estas condiciones las bobinas 1 y 2 se excitan con señales idénticas en fase y las dos armaduras se desplazan la misma magnitud en cada instante y en el mismo sentido, por lo que el estilete efectúa un movimiento vertical. El estilete se mueve, sin desviarse lateralmente, hacia arriba y hacia abajo, grabando el disco en profundidad. (Recuerde que ésta era la característica de un registro vertical.)

Si finalmente llegan a los dos micrófonos señales sonoras de la misma intensidad, pero en contrafase, la corriente por las bobinas 1 y 2 es la misma, pero con una diferencia de fase relativa de 180°, lo que motiva que los movimientos de las armaduras tengan sentido contrario en cada instante, provocando un desplazamiento horizontal del estilete exactamente igual al que tendría en un registro lateral.

Deducimos, pues, que el registro estereofónico es una combinación de registros lateral y vertical y que la grabación del surco se realiza, en consecuencia, tanto sobre sus paredes laterales como sobre su base. Más adelante, al ver cómo se reproduce este disco mediante una cápsula estereofónica, veremos con más detalle las particularidades de este registro.

REPRODUCCION DE DISCOS ESTEREOFONICOS

Hemos descrito de forma muy somera el proceso de registro de un disco estereofónico y cómo se convierte la señal eléctrica que llega al fonocaptor en desplazamiento mecánico del estilete, y este desplazamiento en señal registrada en el surco del disco.

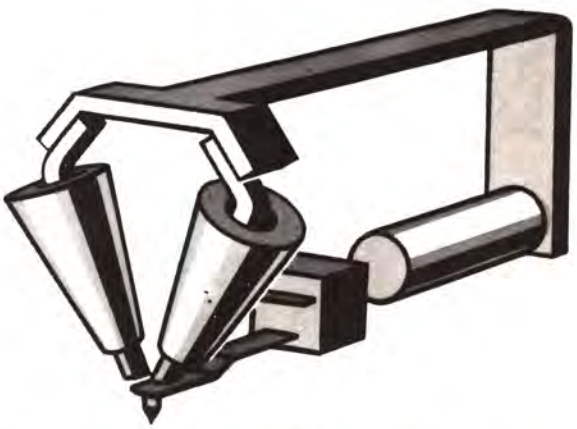
La cápsula fonocaptora estereofónica tiene por misión generar dos señales idénticas a las que llegaron al grabador, mediante el recorrido que efectúa la aguja por el surco del disco.

La cápsula del *pick-up* es magnética y tiene en consecuencia forma análoga al grabador descrito. Cuando las armaduras de la cápsula, unidas mecánicamente a la aguja, realizan algún movimiento, se induce en las bobinas una señal idéntica a la que tendría que pasar por las bobinas del grabador para que el estilete realizase el mismo movimiento que ha descrito la aguja. Obtenemos, pues, dos señales iguales a las que han producido el registro, tal como nos habíamos propuesto.

Para la lectura de discos estereofónicos existen también cápsulas fonocaptoras de cristal en que los dos sistemas magnéticos se han sustituido por sendos cristales piezoeléctricos que generan tensiones proporcionales a los desplazamientos del estilete.

Técnicamente, pues, la reproducción de discos estereofónicos no ofrece dificultades. Sin embargo, en el aspecto comercial se plantea la necesidad de que los discos estereofónicos puedan reproducirse también mediante equipos monofóni-

Constitución de una cápsula estereofónica de cristal



Constitución de una cápsula magnética para lectura de discos estereofónicos. (Información Dual.)

cos, pues la mayoría de los equipos reproductores que posee el público pertenecen a ese género.

Si un disco estereofónico también puede ser reproducido por un equipo monofónico (con lo que el sonido pierde su cualidad estereofónica, claro está), se dice que el disco es compatible.

LA COMPATIBILIDAD DE LOS DISCOS ESTEREOFONICOS

Cabe pues preguntarse: ¿qué ocurrirá cuando intentemos reproducir un disco estereofónico mediante una cápsula monofónica?

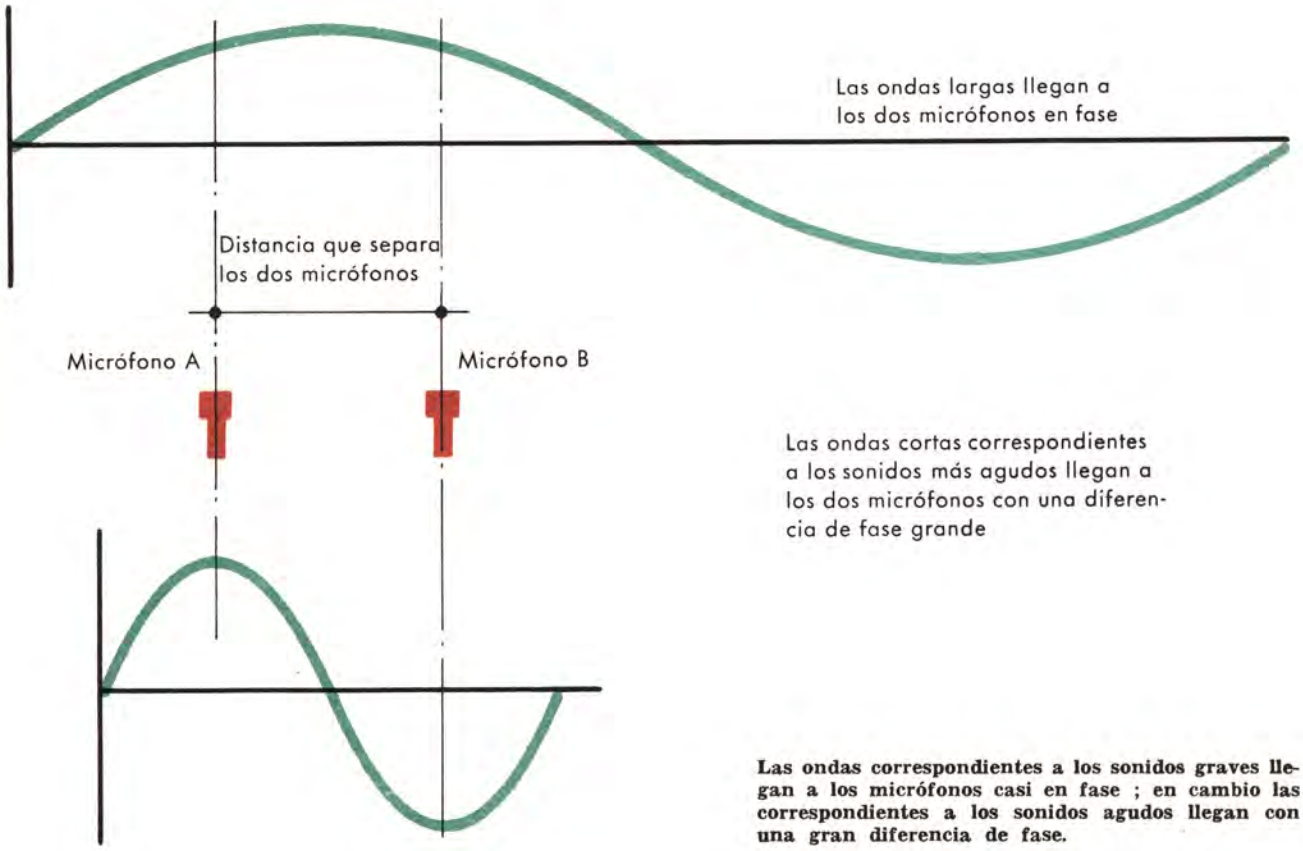
Como sabemos, la cápsula monofónica sólo es sensible a la modulación lateral, pero no puede convertir en señal eléctrica la modulación vertical; ya hemos visto que en el disco estereofónico, tal y como lo hemos descrito, la grabación modula lateral y verticalmente el surco. De lo anterior podemos deducir que la cápsula monofónica no es adecuada para convertir en señales eléctricas la información de un disco estereofónico grabado en la forma que hemos explicado, pues tan sólo puede reproducir las señales que provocan en el disco una modulación lateral. Recordando que esas señales eran las que llegaban en contrafase a los dos micrófonos, podremos afirmar que sólo ellas serán correctamente reproducidas por la cápsula monofónica.

Ahora bien, ¿a qué sonidos corresponden las señales que llegan en contrafase al micrófono? Tan sólo llegan en contrafase a los dos micrófonos las señales cuya longitud de onda sea el doble de la distancia que separa los micrófonos; y como esa distacia por lo general es pequeña, sólo las frecuencias agudas cumplen con esta condición y son por tanto correctamente reproducidas.

Las frecuencias graves, en cambio, dada la gran longitud de onda excitan prácticamente en fase a los dos micrófonos y quedan por tanto impresionadas por modulación vertical del disco, con lo que no es posible su reproducción mediante una cápsula monofónica.

En realidad las cosas no son tan simples como acabamos de indicar, pues ni para las frecuencias graves se da la circunstancia de que exciten a los micrófonos en concordancia de fase, ni menos aún que las frecuencias agudas lleguen a hacerlo en rigurosa oposición de fase.

De hecho sólo existen diferencias de fase acu-



Las ondas correspondientes a los sonidos graves llegan a los micrófonos casi en fase ; en cambio las correspondientes a los sonidos agudos llegan con una gran diferencia de fase.

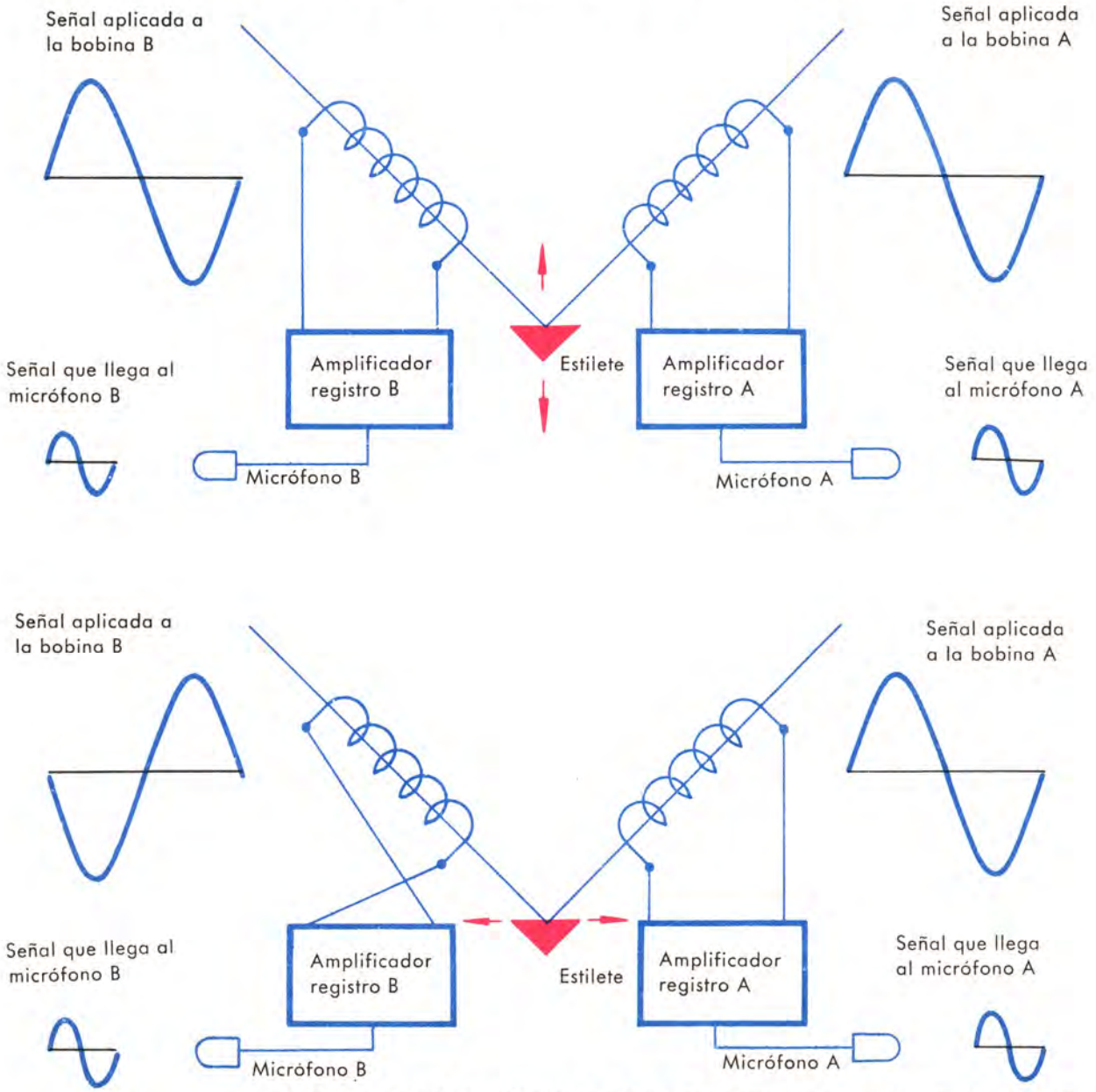
sadas para los tonos agudos y menos para los graves; y por ello tanto las frecuencias bajas como las altas provocan parcialmente ambos tipos de modulación, siendo en el primer caso más importante la modulación vertical y en el segundo la modulación lateral.

Teniendo en cuenta que el grabador es de tipo magnético —es decir, que la grabación es del tipo de velocidad constante—, los movimientos más amplios del estilete tiene lugar durante la grabación de las frecuencias bajas, y por tanto en un disco estereofónico grabado en las condiciones hasta aquí indicadas es mucho más amplia la modulación vertical (tonos graves) que la modulación lateral (tonos agudos). Está claro que éstas no son las condiciones más adecuadas para reproducir el disco mediante una cápsula monofónica que sólo es sensible a la modulación lateral.

En un disco estereofónico puede conseguirse, sin embargo, que la modulación sea preferentemente lateral: basta con invertir los terminales de una de las bobinas del grabador.

En estas condiciones las señales que antes llegaban en fase a las bobinas del grabador llegan en contrafase y viceversa.

De este modo el disco resulta más adecuado para ser reproducido por una cápsula monofónica y puede considerarse compatible.



Al invertir una de las bobinas, las señales que llegan en fase a los micrófonos producen una modulación lateral.

COMO REPRODUCIR UN DISCO COMPATIBLE

Los discos compatibles se graban invirtiendo la fase de una de las bobinas de la cabeza de registro; por tanto no puede ser reproducido mediante una cápsula estereofónica sin efectuar en ella ningún cambio, pues así aparecería en uno de los canales una tensión en contrafase de la que realmente debería tener.

Este inconveniente tiene fácil remedio, pues basta con invertir de nuevo las tomas de la bobina del canal correspondiente al que se ha invertido en el registro. De esta forma todo queda igual que antes, más con la ventaja de haber hecho compatible el disco.

Por supuesto que el fabricante tiene en cuenta esa circunstancia, y los terminales de la cápsula estereofónica están ya dispuestos adecuadamente.

Como ocurre con los discos monofónicos, los discos estereofónicos no pueden registrarse por el simple sistema de velocidad constante, sino que debe emplearse también el sistema de velocidad constante modificada. Las razones que obligan a adoptar tal solución son las mismas que lo hacían necesario en el registro monofónico: excesiva amplitud de las oscilaciones laterales en el surco para las frecuencias graves y poca amplitud en las frecuencias agudas.

Al reproducir discos estereofónicos también se precisa una igualación exactamente igual a la necesaria para los monofónicos; por tanto el preamplificador estereofónico, tiene que estar dotado del control que hemos llamado *ecualizador* en la lección anterior.

LA COMPATIBILIDAD DE LOS DISCOS MONOFONICOS

Hemos indicado la forma de conseguir que sea compatible un disco estereofónico y por lo tanto hemos resuelto la papeleta de reproducir un disco estereofónico con una cápsula monofónica. Pero ¿qué ocurrirá cuando procedamos a la inversa? Es decir, ¿qué pasará si queremos reproducir un disco normal con una cápsula estereofónica?

Recordemos que, con la modificación que hemos introducido en la grabación para obtener discos compatibles, se ha precisado invertir la fase de una de las dos bobinas del grabador y que para restituir a las señales la fase correcta en la reproducción se ha invertido la fase de una de las señales que proporciona la cápsula fonocaptora. Por consiguiente, cuando la modulación del surco es vertical las dos señales que se obtienen en la cápsula están en contrafase; y cuando la modulación es lateral dichas dos señales están en fase.

Como el disco monofónico está modulado lateralmente, aparecen en la cápsula dos señales en fase. Por tanto se obtienen en la cápsula estereofónica dos señales exactamente iguales entre sí e iguales a la señal que proporcionaría la cápsula monofónica.

En otras palabras, el disco monofónico es compatible con los equipos estereofónicos; y en este caso la compatibilidad es más perfecta que en el caso anterior.

EL AMPLIFICADOR ESTEREOFONICO

Como en el sonido estereofónico se obtienen dos señales que no pueden mezclarse, se precisa un sistema de amplificación independiente para cada señal.

En el sonido monoaural, una vez obtenida la señal que se amplifica era preciso proceder a una adaptación de impedancias y una primera amplificación de la tensión, misiones de las que se encargaba el preamplificador. Cuando la grabación es estereofónica el preamplificador ha de tener la posibilidad de adaptar las impedancias y amplificar independientemente las dos señales, misión que sólo puede llevar a cabo si posee dos entradas y dos sistemas de amplificación independientes. Es decir: para el sonido estereofónico se precisan dos preamplificadores —uno para cada señal— idénticos a los que se emplean en sonido monoaural.

Estos dos preamplificadores pueden estar separados y constituidos por dos circuitos como los que hemos descrito en las páginas anteriores, o bien estar confinados en una sola unidad preparada para el sonido estereofónico. Además, igual que como ocurre en el sonido monoaural, el preamplificador puede estar separado del amplificador de potencia o bien formar con él una sola unidad. En el caso de sonido estereofónico han de ser, claro está, dos amplificadores de potencia los que incluya esta unidad.

En los preamplificadores estereofónicos exis-

ten, como en los monofónicos, los siguientes controles: *selector de entradas, ecualizador, compensación acústica* o *control de Fletcher, filtros, control de volumen* y *controles de tono,* cada uno de los cuales con la misma función que en un preamplificador estereofónico. Cada control actúa en tándem sobre los dos canales.

Además de los indicados, existen otros dos controles exclusivos de los equipos estereofónicos por no tener razón de existir en los equipos monofónicos. Estos controles son: el inversor y el balance.

Con respecto a los amplificadores de potencia podemos decir que han de ser dos, iguales entre sí y cada uno de ellos de las mismas características que los amplificadores de potencia monofónicos descritos en la lección correspondiente.

Concluyendo, podemos afirmar que un amplificador estereofónico —excepto en lo que se refiere a los controles especiales que hemos mencionado— está constituido por dos unidades amplificadoras idénticas e iguales a las que hemos ya estudiado. Por tanto, y para no incurrir en repeticiones, estudiaremos solamente los controles peculiares de los amplificadores estereofónicos, es decir, el inversor y el balance.

EL INVERSOR

Este control sirve para conmutar la señal que ataca a cada uno de los sistemas de amplificación.

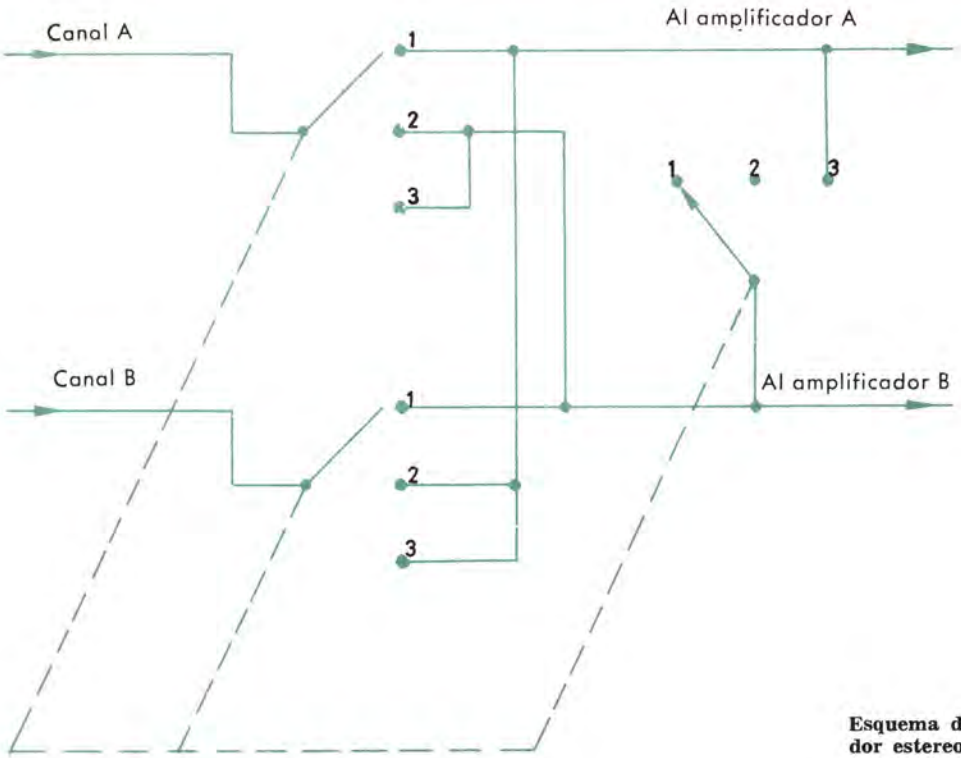
Mediante este control, si una señal de las dos que constituyen el sonido estereofónico se reproduce por el amplificador A; por ejemplo, puede conseguirse que pase al amplificador B y, naturalmente, que al mismo tiempo la señal de B pase a A.

Otra misión de este control es la de mezclar a voluntad las dos señales.

En la figura puede verse, en forma esquemática, cómo lleva a cabo su misión este control.

En la posición 1 del conmutador la señal A pasa al amplificador A y la señal B al B. En la posición 2 se conmutan las señales; es decir, la señal A pasa al amplificador B y la B pasa al A. Finalmente, en la posición 3 las dos señales se mezclan. Esta es la posición que debe tener el control cuando se reproduce un disco monoaural.

La utilidad de este control reside en la posibilidad, una vez la señal electrónica se ha convertido en sonora en los dos altavoces, cada uno de los cuales reproduce una señal, de conmutar el sonido reproducido por cada altavoz.



Esquema del inversor de un amplificador estereofónico.

CONTROL DE BALANCE

Este control tiene el objeto de dar a cada canal una potencia de salida regulable a voluntad.

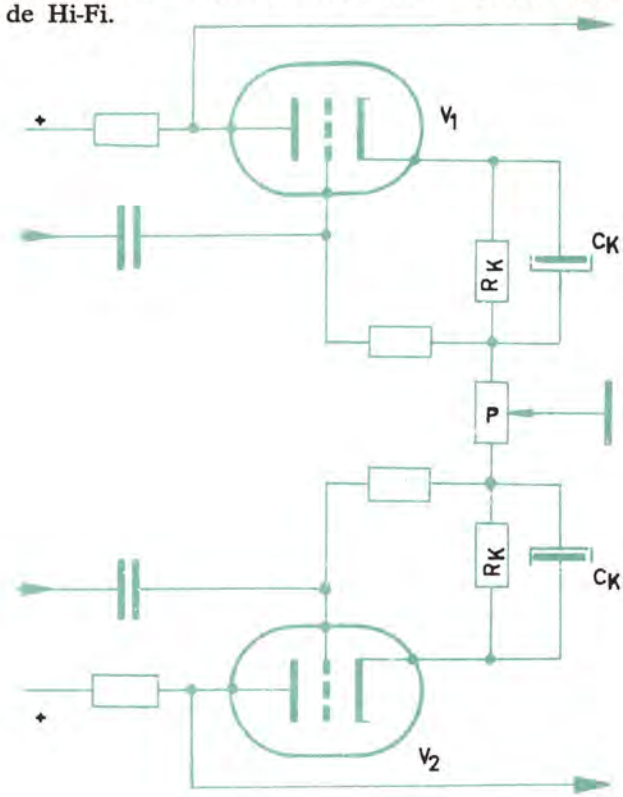
Cuando se escucha una reproducción estereofónica es importante que las ondas sonoras de cada canal no sólo lleguen con la diferencia de fase adecuada, sino también con la intensidad relativa correspondiente.

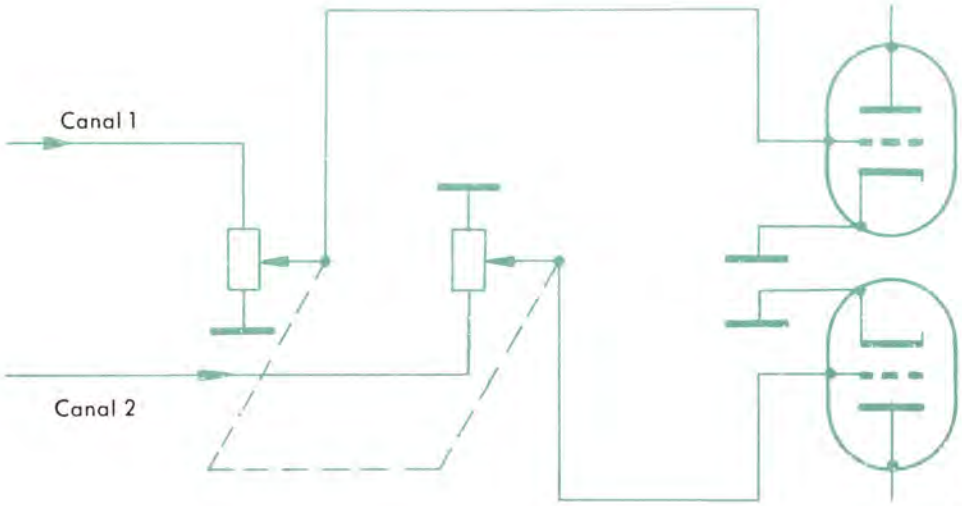
Para que el sistema estereofónico cumpla esta última condición debe existir la posibilidad de variar a voluntad la potencia de salida de cada canal con respecto al otro. Esto puede conseguirse mediante dos controles de volumen separados, uno para cada canal, o bien mediante un solo control de volumen que actúe en tándem sobre los canales y el mencionado control de balance. En este caso el control de volumen da un determinado nivel de salida en los dos canales y el balance se encarga de variar la potencia de salida de cada uno de ellos con respecto al otro.

Un control de balance bastante empleado es el que representa la figura. Los triodos V_1 y V_2 son válvulas amplificadoras de los canales 1 y 2 respectivamente; las resistencias R_k son las de polarización y los condensadores C_k son los de desacoplo. Las resistencias de cátodo no están unidas directamente a masa, sino a través del punto medio del potenciómetro P.

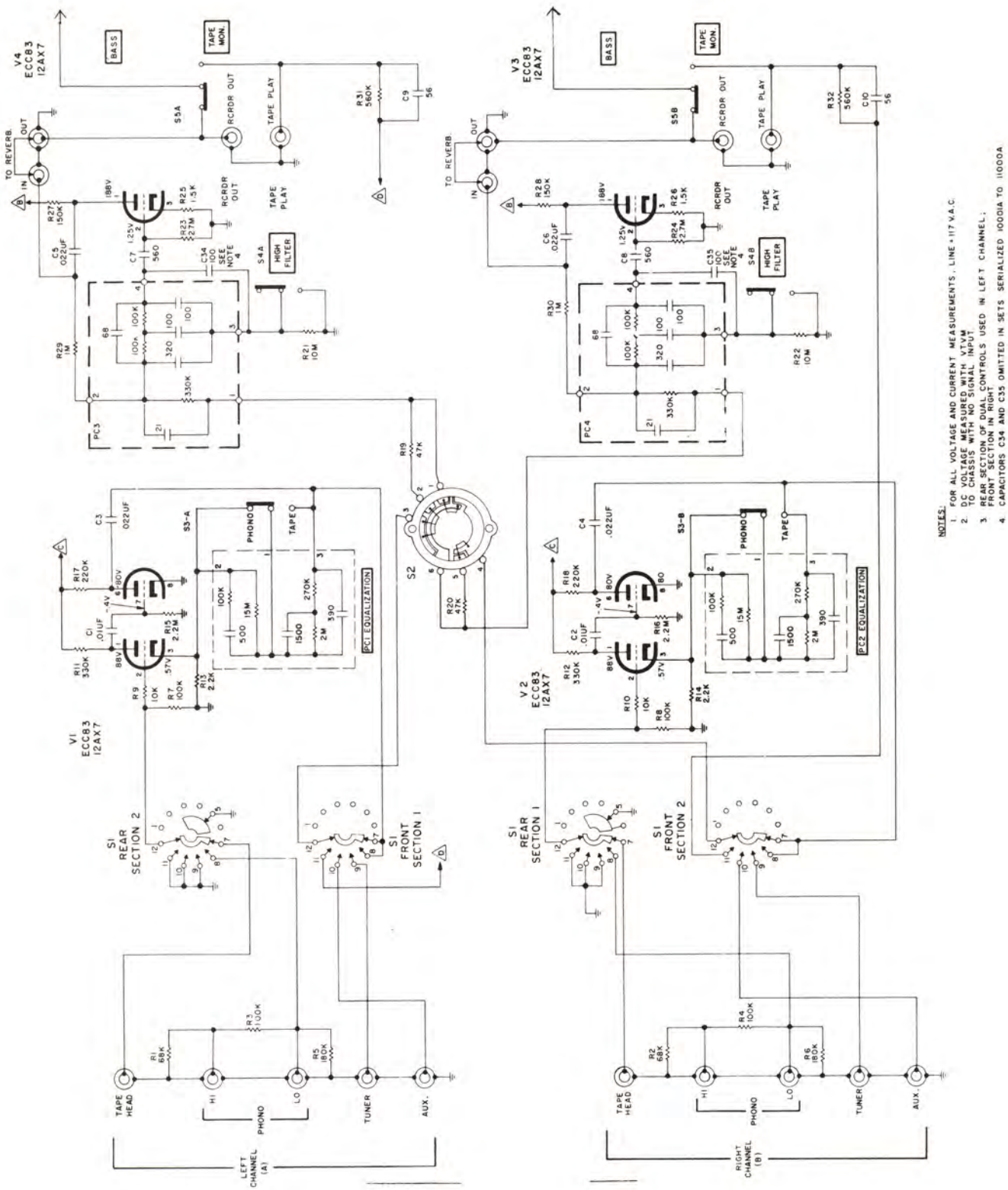
Las dos ramas del potenciómetro no están desacopladas por condensadores, y por tanto introducen en el circuito de cada válvula una realimentación negativa proporcional al valor de la resistencia de cada rama. Esa realimentación negativa disminuye la ganancia de los triodos. Moviendo el cursor del potenciómetro se consigue variar la ganancia de uno de ellos con respecto al otro.

En la figura se indica un dispositivo de balance que utiliza dos potenciómetros en tándem cuyo principio de funcionamiento no requiere explicaciones. Un amplificador que utiliza este último tipo de control es el X-100-A «The Fisher». Incluimos aquí el esquema de este amplificador, que no sólo ilustra la constitución de un amplificador estereofónico, sino también muchas de las soluciones características de los amplificadores de Hi-Fi.

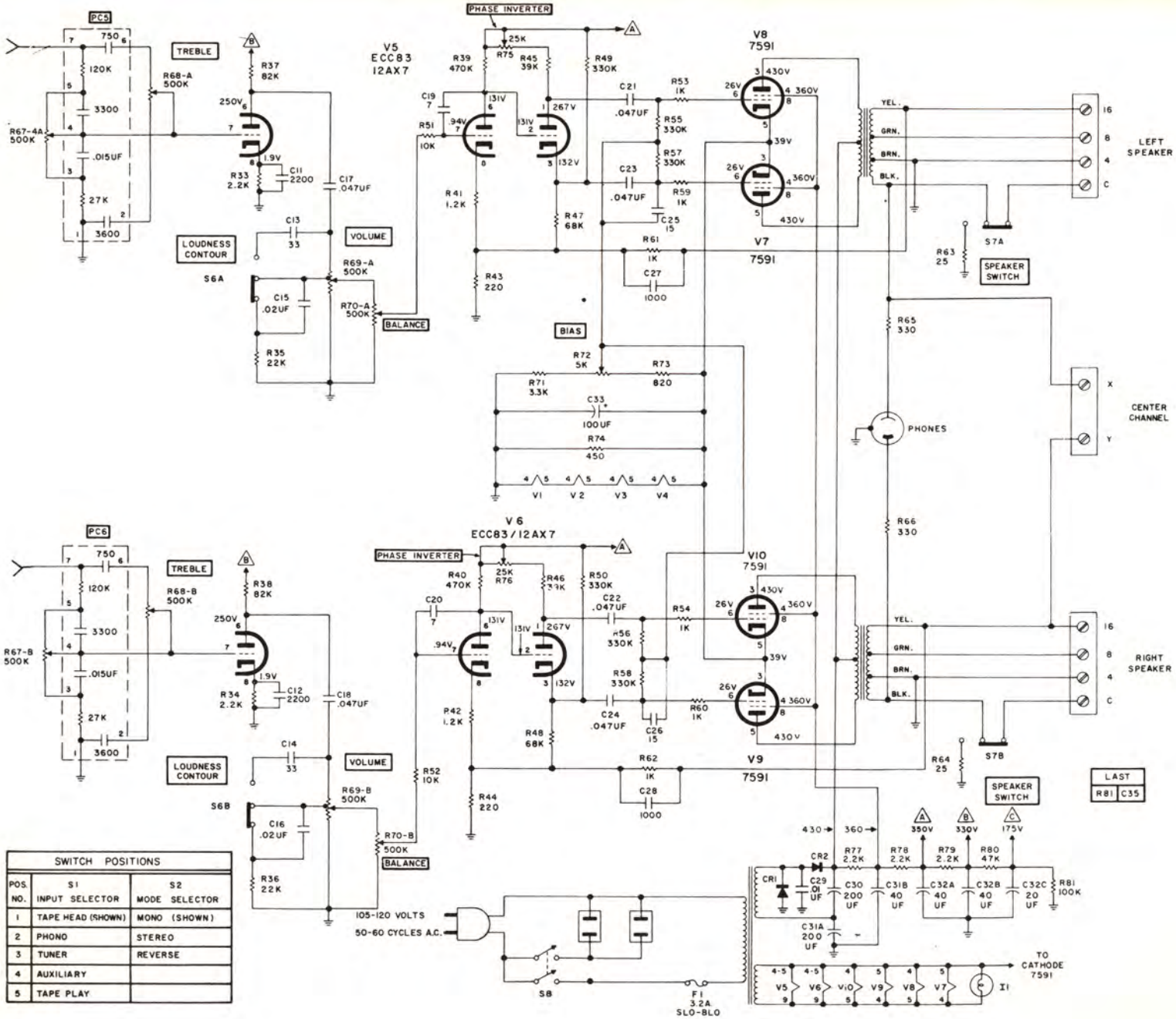




Otro tipo de control de balance. Al mover el cursor de los potenciómetros, que están montados en tándem, aumenta la señal aplicada a un canal y disminuye la aplicada al otro.



Amplificador estereofónico "The Fisher" X-100-A.


PC5
TREBLE
R68-A 500K
R67-4A 500K
LOUDNESS CONTOUR
S6A
VOLUME
R69-A 500K
BALANCE
R70-A 500K
PHASE INVERTER
V5 ECC83 12AX7
V8 7591
V7 7591
BIAS
LEFT SPEAKER
CENTER CHANNEL
RIGHT SPEAKER
SPEAKER SWITCH
S7A
PHONES
PC6
R68-B 500K
R67-B 500K
S6B
R69-B 500K
R70-B 500K
V6 ECC83/12AX7
V10 7591
V9 7591
S7B
LAST
R81 C35
SWITCH POSITIONS
POS. NO. | S1 INPUT SELECTOR | S2 MODE SELECTOR
1 | TAPE HEAD (SHOWN) | MONO (SHOWN)
2 | PHONO | STEREO
3 | TUNER | REVERSE
4 | AUXILIARY
5 | TAPE PLAY
105-120 VOLTS
50-60 CYCLES A.C.
S8
F1 3.2A SLO-BLO
TO CATHODE 7591

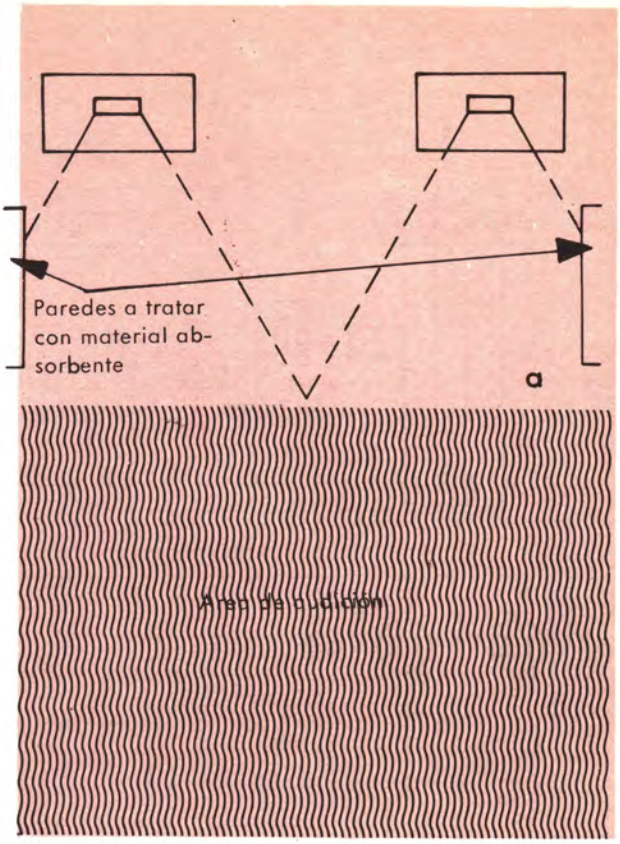
LOS ALTAVOCES EN LOS EQUIPOS ESTEREOFONICOS

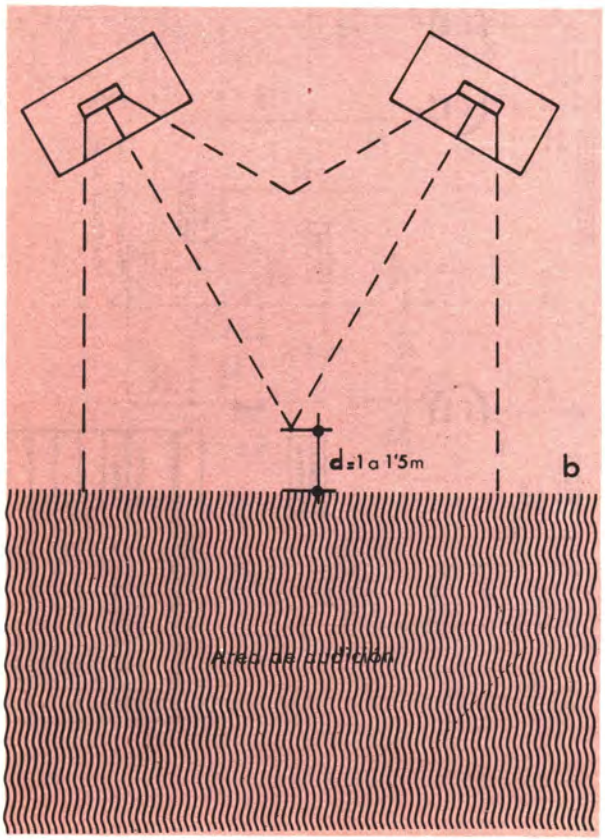
Después de haber amplificado en el grado conveniente la señal eléctrica interesa convertirla en la señal sonora, operación que como sabemos llevan a cabo los altavoces.

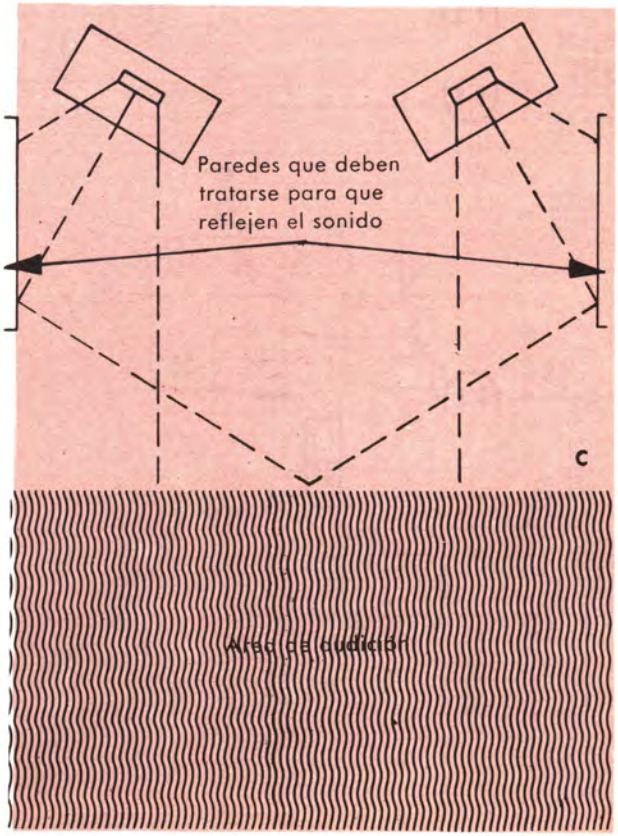
Hemos repetido varias veces que en el sistema estereofónico se precisan dos sistemas de altavoces. En lo que a éstos se refiere diremos que son idénticos a los que se emplean en el sistema monoaural; no hace falta decir que cada altavoz debe estar confinado en un recinto acústico o *baffle*.

No existe, pues, particularidad alguna que distinga un gabinete acústico monoaural de otro estereofónico. La única diferencia, en todo caso, está en el número de gabinetes que precisa cada sistema.

Concluimos, pues, que cada uno de los *baffles* de un sistema estereofónico es exactamente igual a los ya estudiados para el sistema monoaural; puede contener un solo altavoz (que reproduzca toda la gama de frecuencias) o varios (cada uno destinado a reproducir una determinada banda). Podemos prescindir por completo de su estudio, puesto que los cálculos se llevan a cabo de







la misma forma que en el sistema monofónico.

Existe, sin embargo, un punto que debemos comentar.

En el sistema monoaural la colocación del *baffle* frente al área de audición no era un detalle de mucha importancia, pues bastaba con sólo disponerlo de forma que proyectase las notas agudas sobre esta área, puesto que estas notas son las más direccionales.

En el sistema estereofónico no hay que perder de vista que debe ser la escucha combinada de los sonidos procedentes de cada *baffle* la que produce la sensación estereofónica. La posición relativa de los *baffles* respecto al área de audición es una circunstancia de suma importancia.

Damos a continuación algunas indicaciones sobre la colocación de *baffles* en la reproducción estereofónica.

Para obtener una verdadera sensación de estereofonía los *baffles* deben estar separados por una distancia que depende de las dimensiones de la sala donde esté instalado el sistema, pero en ningún caso esta distancia debe ser inferior a un metro. En una habitación grande incluso es aconsejable separarlos todo lo que sea posible.

En lo que atañe a la posición relativa de los *baffles*, la disposición representada en la figura *a*, es bastante frecuente. Presenta algunas ventajas pero tiene un serio inconveniente: las ondas sonoras inciden en las paredes y se reflejan en ellas, y puede ocurrir que las ondas directas interfieran con las reflejadas dando lugar a una desvirtuación, no sólo del efecto estereofónico sino incluso del propio sonido. Una forma de evitar este inconveniente consiste en cubrir con material absorbente (corcho, cortinajes, etc.) la parte de la pared en que incide el sonido. La disposición indicada da excelentes resultados si se adopta esta precaución.

Otra disposición de satisfactorios resultados es la que se ve en la figura *b*, en la que el efecto estereofónico se logra de forma bastante buena a una distancia de metro a metro y medio del punto de intersección de los ejes imaginarios de los altavoces.

Si la habitación donde se reproduce el sonido es bastante pequeña, pueden conseguirse resultados buenos colocando los altavoces como se indica en la figura *c*. En este caso, al contrario que en el primero, las paredes que reciben las ondas sonoras deben ser tratadas para aumentar su poder reflector.

Estas disposiciones sólo deben servir como indicaciones generales, pues en cada caso particular los *baffles* deben adoptar una disposición que depende de múltiples circunstancias. Sólo efectuando repetidas pruebas se puede determinar cuál es la posición más conveniente de los *baffles*.

CONCLUSION

Al empezar el estudio que hemos efectuado de la alta fidelidad nos propusimos encontrar la forma reproducir un sonido de tal manera que fuese tan parecido al original como nos permitiesen los medios técnicos. Para llevar a cabo este estudio aprendimos primero a distinguir las diversas cualidades del sonido y las sensaciones que nos produce cada una. Vimos después la forma en que podíamos reproducir este sonido sin alterar sus cualidades, lo que nos ha conducido al estudio de los sistemas traductores mecánico-eléctricos y electromecánicos y también al estudio de los sistemas amplificadores. Siguiendo este estudio nos hemos dado cuenta de cómo puede llevarse a cabo esta reproducción que hemos convenido en llamar de alta fidelidad y cómo se ha reproducido un sonido conservando casi íntegramente sus cualidades.

No satisfechos con estos resultados, hemos querido dar además al sonido reproducido otra característica del sonido real; la espacialidad, la perspectiva. Este intento nos ha llevado hasta el sonido estereofónico, con el que podemos considerar que hemos llegado a la meta que nos habíamos propuesto alcanzar: reproducir un sonido de forma que se parezca al original tanto como sea posible, puesto que la similitud absoluta, la verdadera fidelidad, es técnicamente imposible de conseguir.

Parece que con ello podría la técnica detenerse y deleitarse con el disfrute de esta maravilla conseguida, pero no es así. Considerando que lo mucho conseguido es todavía poco, los técnicos prosiguen su búsqueda. Por una parte mejoran los sistemas destinados a obtener esta reproducción que hemos calificado de técnicamente perfecta, y por otra buscan dispositivos que, aunque no colaboran en el sentido de dar verdadera fidelidad a la reproducción, ayudan a aumentar el placer auditivo del aficionado.

Hasta ahora sólo hemos estudiado los medios que proporcionan verdadera fidelidad, pero nada hemos dicho de los dispositivos especiales destinados única y exclusivamente a proporcionar un placer auditivo. En lo que sigue nos ocuparemos de algunos de ellos.

DISPOSITIVOS ESPECIALES

Conviene aclarar que la finalidad de estos dispositivos especiales no es conseguir alta fidelidad, sino que lo que se persigue con ellos es todo lo contrario, puesto que lo que hacen es introducir en el sonido deformaciones que antes no existían. En principio puede parecer que lo que con ello se consigue es derrochar la maravilla que hemos encontrado, pero no es así; las deformaciones que podemos introducir gracias a los citados dispositivos especiales hacen más agradable la audición si se sabe dosificarlos con acierto.

Hay bastantes dispositivos destinados a cumplir la finalidad indicada; entre todos ellos estudiaremos solamente los dispositivos de reverberación artificial, que tal vez son los más utilizados.

LOS DISPOSITIVOS DE REVERBERACION

Estos dispositivos especiales sirven para producir artificialmente, a voluntad del usuario, el fenómeno de la reverberación.

Pero ¿qué es la reverberación?

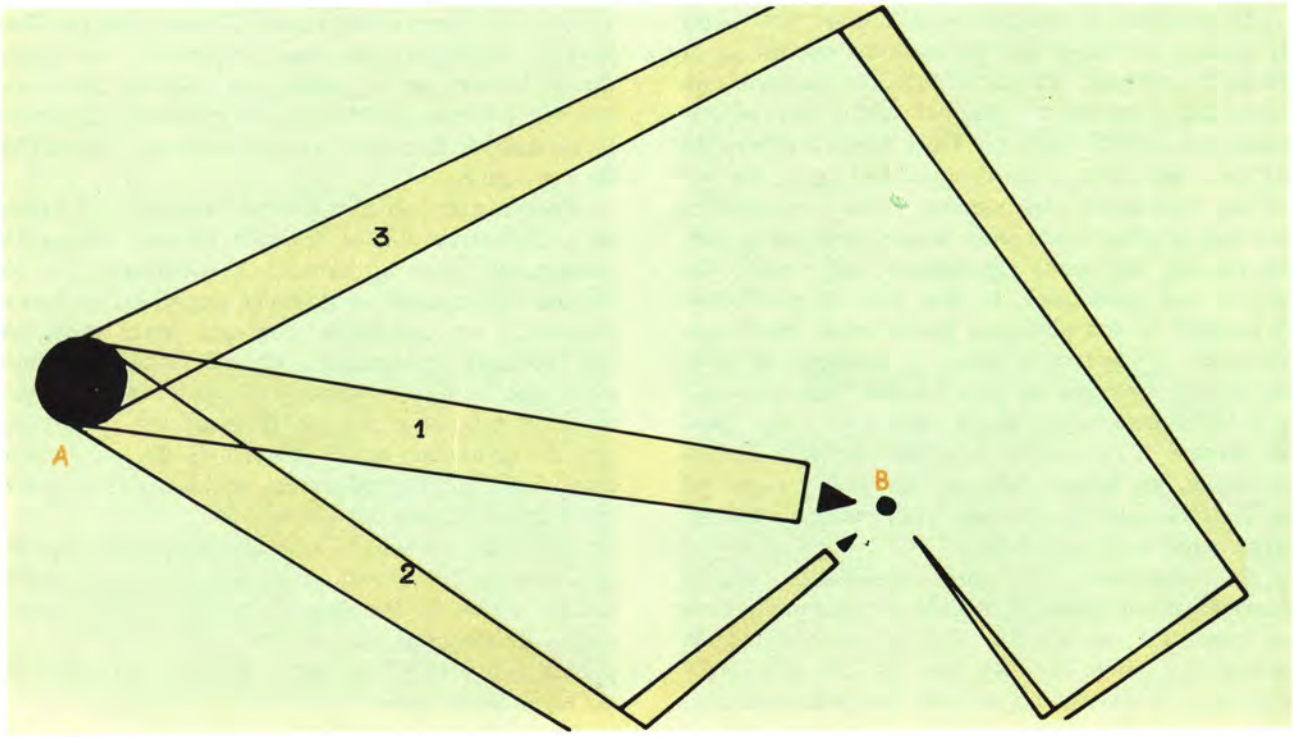
La reverberación es un fenómeno característico de todo local que determina en parte su comportamiento acústico.

Cuando estamos en un local cualquiera, por ejemplo un teatro, nos habremos dado cuenta de que cuando está vacío el sonido tiene un matiz muy diferente del que presenta cuando el local está abarrotado de público. Esta diferencia en el sonido de un local según haya gran cantidad de público o no se debe precisamente al fenómeno de reverberación.

Analicemos la cuestión con un poco más de detalle. Es fácil observar que si en un local vacío se provoca un sonido que deja de producirse en un instante dado, quien se halle en el local sigue percibiéndolo con intensidad decreciente, durante cierto tiempo, hasta que finalmente se anula la sensación.

El porqué de lo descrito es muy fácil de comprender. Supongamos que la planta del local es la representada en la figura; que el punto *A* es el foco de donde parten las ondas sonoras (podría ser por ejemplo un altavoz) y, finalmente, que B sea una persona que percibe el sonido emitido por A.

Al punto B llegan varias ondas sonoras: por una parte la representada por 1 en la figura, que es la onda directa; por otra parte las ondas sonoras que chocan con las paredes del local, se reflejan en ellas y llegan también a B. Fijémonos en que cada una de las ondas recorre diferente camino. Por tanto, el tiempo que invierte cada



una en llegar a B depende del camino que haya seguido. En la figura indicada el tiempo empleado por la onda 1 es menor que el empleado por la 2, y éste menor que el de la onda 3, etc. Además, cuando la onda sufre una reflexión la energía de la onda incidente es mayor que la de la onda reflejada, pérdida de energía en la reflexión tanto mayor cuanto más absorbente sea el material que constituye la pared. Podemos simbolizar esta pérdida de energía mediante una disminución del grueso de la línea que representa la marcha de la onda.

Al punto B llega, pues, en un instante dado la onda directa, y a partir de él las sucesivas ondas reflejadas, lo que alarga la duración del sonido durante cierto intervalo que se llama *tiempo de reverberación*.

La reverberación es, pues, un fenómeno, producido en recintos cerrados, por el que percibimos un sonido durante determinado tiempo después de que haya dejado de producirse. Este es el que llamamos tiempo de reverberación, y es una característica del local.

El tiempo de reverberación de un local depende de sus dimensiones, de cómo sean sus paredes y de los obstáculos (muebles o personas) que encuentren las ondas sonoras. Es tanto mayor cuanto mayor sea el local —pues más espacio tiene que recorrer la onda sonora para llegar a B y más tiempo empleará en hacerlo— y tanto menor cuantos más obstáculos encuentre la onda sonora. La influencia de los obstáculos en el tiempo de reverberación explica la mayor reverberación de un local cuando está desocupado que cuando está totalmente lleno de público.

Ahora que conocemos el fenómeno de la reverberación podemos intuir qué es lo que hacen los dispositivos especiales de reverberación: provocan artificialmente este fenómeno.

Después de haber explicado lo anterior es fácil deducir la forma de conseguir artificialmente este fenómeno. Si la reverberación consiste en la percepción por nuestro oído de la onda directa emitida y además de otras ondas retrasadas determinado tiempo y atenuadas, para provocar artificialmente la sensación de reverberación basta con que al generar la onda directa correspondiente de cada sonido, por los medios que ya conocemos, se generen otras ondas iguales con retrasos cada vez mayores e intensidades cada vez menores.

Esto es lo que hacen todos los dispositivos de reverberación, que sólo se diferencian entre sí por la forma en que consigue generar esa clase de ondas.

Los dispositivos artificiales de reverberación pueden utilizarse para dar mayor realismo a una reproducción. Así, por ejemplo, en la reproducción de una grabación de órgano en una pequeña habitación de un piso moderno, uno de esos dispositivos es capaz de simular muy bien las condiciones de reverberación de una catedral.

También puede utilizarse, sin embargo, para *añadir* ese efecto a grabaciones sonoras en que originalmente la reverberación tenía poca importancia (música ligera, por ejemplo). En este caso el mayor o menor placer obtenido en la audición es cuestión de gusto.

SISTEMA DE REVERBERACION CON CINTA MAGNETICA

Quizá sea éste el sistema que emplea un procedimiento más fácil y sencillo para conseguir la generación de las ondas que han de dar sensación de reverberación.

Puede concebirse el aparato de la siguiente forma: supongamos que tenemos un bucle cerrado de cinta magnética —algo así como una circunferencia construida en cinta magnética— y que sobre este bucle están dispuestas una cabeza de registro, otra de borrado y varias de lectura como se indica en la figura.

En el fondo este bucle de cinta no es más que un tambor circular en cuyo borde está dispuesto el material sensible que constituye la cinta magnética.

La fuente de programa se aplica a la cabeza de registro, con lo que se graba en la cinta la información correspondiente. Las cabezas de lectura extraen la información con un determinado retardo con respecto a la onda original que ha producido la fuente del programa (ya tenemos las ondas retrasadas que queríamos obtener). Estas ondas retrasadas pueden «inyectarse» al amplificador principal por medio de un mezclador, o ser reproducidas independientemente de la señal directa mediante otro sistema de amplificación.

El efecto de reverberación que se obtiene mediante este sistema es excelente. Además presenta la ventaja de que se puede variar de manera sumamente fácil el tiempo de retardo que se quiere introducir, para lo que basta con alterar la velocidad de giro del tambor.

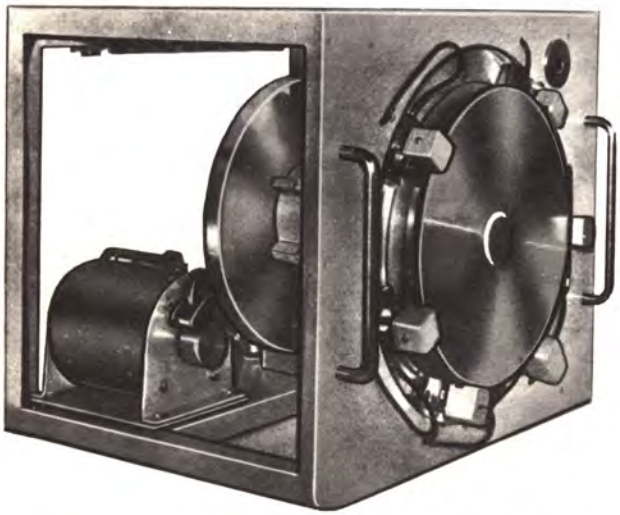
Desde el punto de vista técnico este sistema es quizá el mejor de los empleados en los dispositivos de la reverberación, pero presenta un serio inconveniente: su coste. El precio de un dispositivo de reverberación como el descrito es muy

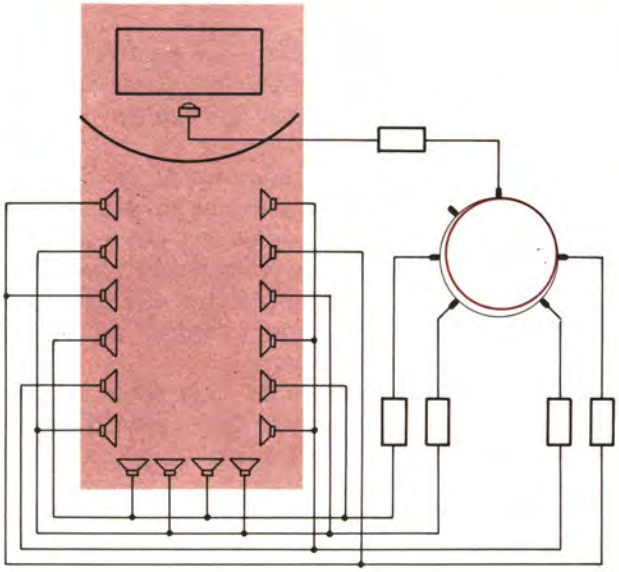
elevado, lo que limita el sistema sólo a usos profesionales.

Los equipos de reverberación por cinta magnética son casi privativos de estudios de radio, televisión, grabación de discos y salas de conferencias con el fin de compensar la reverberación propia del local. Los graficos ilustran la constitución de estos dos dispositivos.

Micrófono
Mezclador
Amplif principal
Oscilador
(1) Cabeza de borrado
(2) Cabeza de grabación
(3 4 5 y 6) Cabezas de reproducción
1
2
3
4
5
6
Amplif 1
Amplif 2
Amplif 3
Amplif 4

Esquema bloque de un sistema de reverberación con cinta magnética.





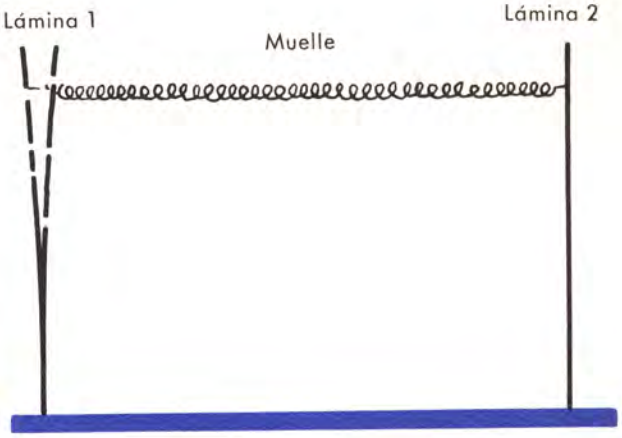
Dispositivo Philips de reverberación y fotografía de la rueda de retardo correspondiente.

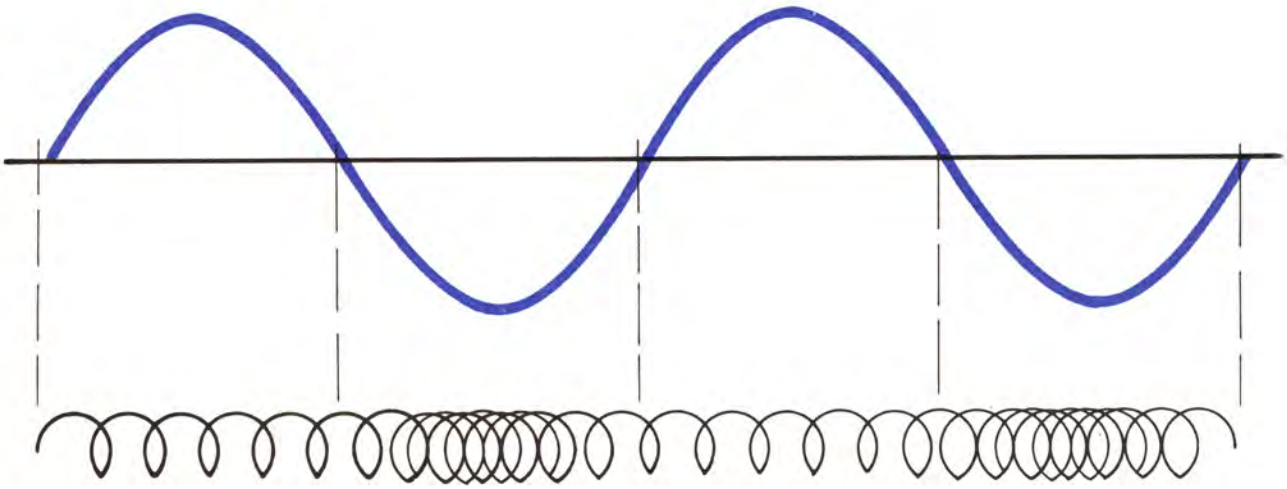
SISTEMA DE REVERBERACION CON LINEA DE RETARDO MECANICA

En los dispositivos de reverberación artificial la parte encargada de producir el retraso de las señales recibe el nombre de línea de retardo.

En el sistema antes descrito la cinta magnética del tambor giratorio constituía la línea de retardo. En el sistema que ahora vamos a describir la línea de retardo emplea medios puramente mecánicos.

La línea de retardo puede estar constituida simplemente por un muelle. Si tenemos dos láminas metálicas que pueden vibrar unidas por un muelle, tal como se indica esquemáticamente en la figura, y separamos una de las láminas, la otra también sufrirá un desplazamiento; pero esta última lámina empezará a desplazarse un poco después del instante en que se ha desplazado la primera. Ese tiempo que necesita la segunda lámina para seguir el movimiento de la primera es el





Desplazando la lámina 1 la 2 sufre también un desplazamiento aunque con cierto retraso.

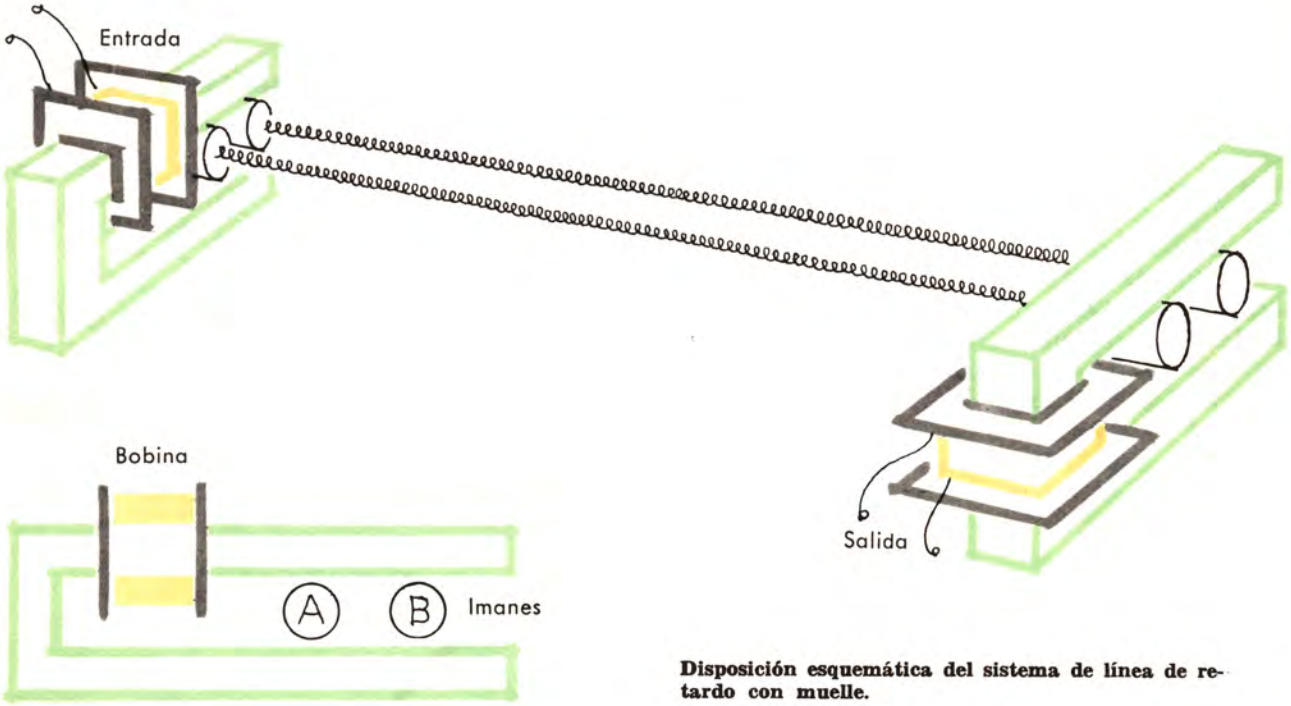
que tarda la vibración en propagarse a través del muelle.

He aquí, pues, un sistema mecánico que retrasa un tiempo determinado las vibraciones que le llegan.

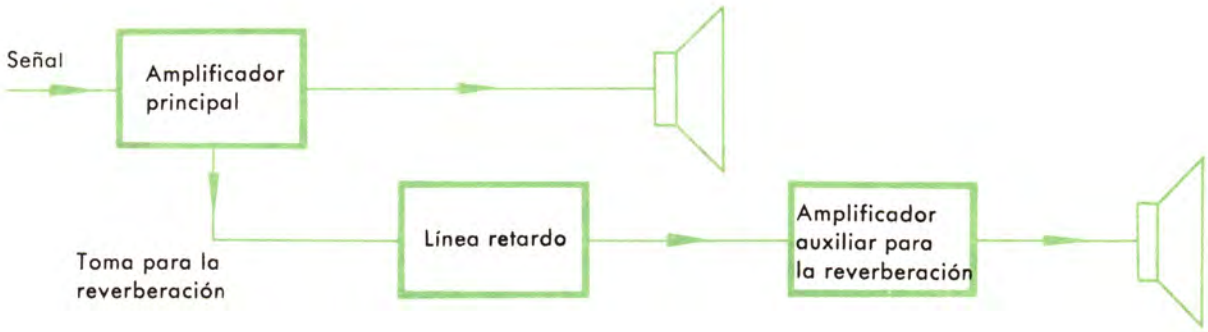
Veamos ahora cómo podemos servirnos de este muelle para que realice nuestros fines: producir ondas retrasadas con respecto a la onda directa.

Supongamos una pequeña bobina enrollada, como se indica, sobre unas láminas de material magnético. Entre las láminas hay dos pequeños imanes, A y B, fijados elásticamente por uno de los extremos y unidos por el otro a sendos muelles. El otro extremo de los muelles está unido a un dispositivo exactamente igual.

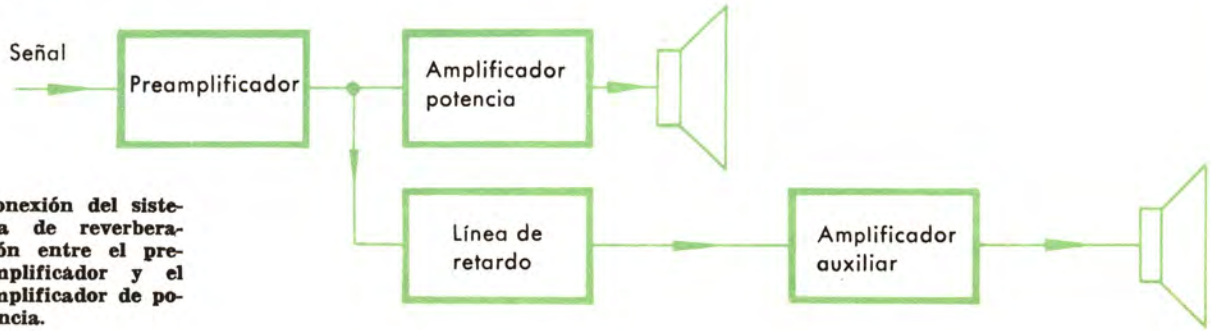
Cuando una señal determinada pasa por la primera bobina, se crea en las láminas un campo magnético y los pequeños imanes sufren las acciones de este campo, que les obliga a desplazarse siguiendo sus variaciones. Estos desplazamientos de los imanes A y B se transmiten a los muelles; y éstos a su vez los transmiten, aunque con cierto retraso, a los imanes del otro extremo A'



Disposición esquemática del sistema de línea de retardo con muelle.



Esquema general de conexión del dispositivo de reverberación.



Conexión del sistema de reverberación entre el preamplificador y el amplificador de potencia.

y B'. Al moverse estos imanes varía el campo magnético en las segundas láminas y en la bobina de este extremo se inducen tensiones proporcionales a los desplazamientos. Tenemos ya en bornes de la segunda bobina una tensión igual a la que ha llegado a la primera, pero con un cierto retraso: el correspondiente al tiempo que ha precisado la vibración para propagarse a través del muelle. Por lo tanto, nuestro fin se ha conseguido.

Veamos ahora cómo se disponen en la práctica estos elementos para conseguir la reverberación.

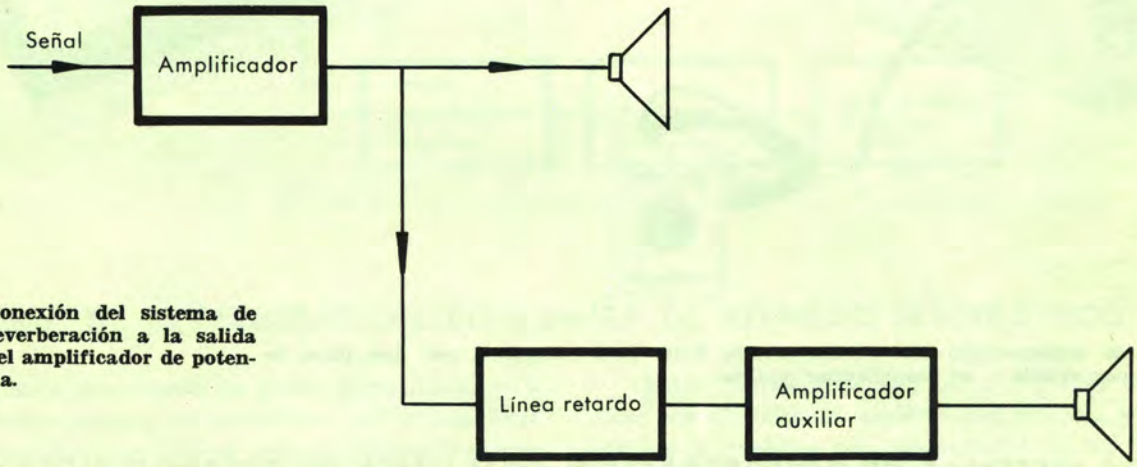
El esquema de principio es el primero de la página anterior. Está compuesto por un amplificador para la onda directa y una toma en algún punto de este sistema de amplificación para poder aplicar la señal a la primera de las dos bobinas aludidas. La tensión de la segunda bobina se amplifica por otro sistema independiente.

Existen algunas variantes dentro del sistema de línea mecánica de retardo, según sea el punto desde el que se toma la señal para la línea de retardo. Las dos más empleadas se describen gráficamente.

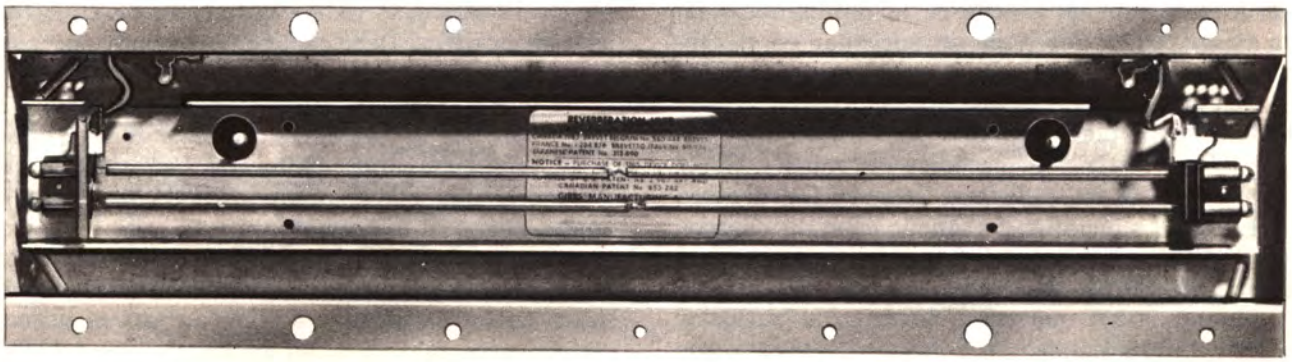
En la primera versión la toma para la línea de retardo tiene lugar entre el preamplificador y el amplificador de potencia. En el segundo caso la toma para el canal de reverberación se efectúa a la salida del amplificador de potencia.

El que se adopte una u otra de estas posibilidades tan sólo depende de las características de la línea de retardo que se emplea, pues en lo que a resultado se refiere las dos modalidades conducen a resultados equivalentes.

Comparemos el sistema de la línea de retardo

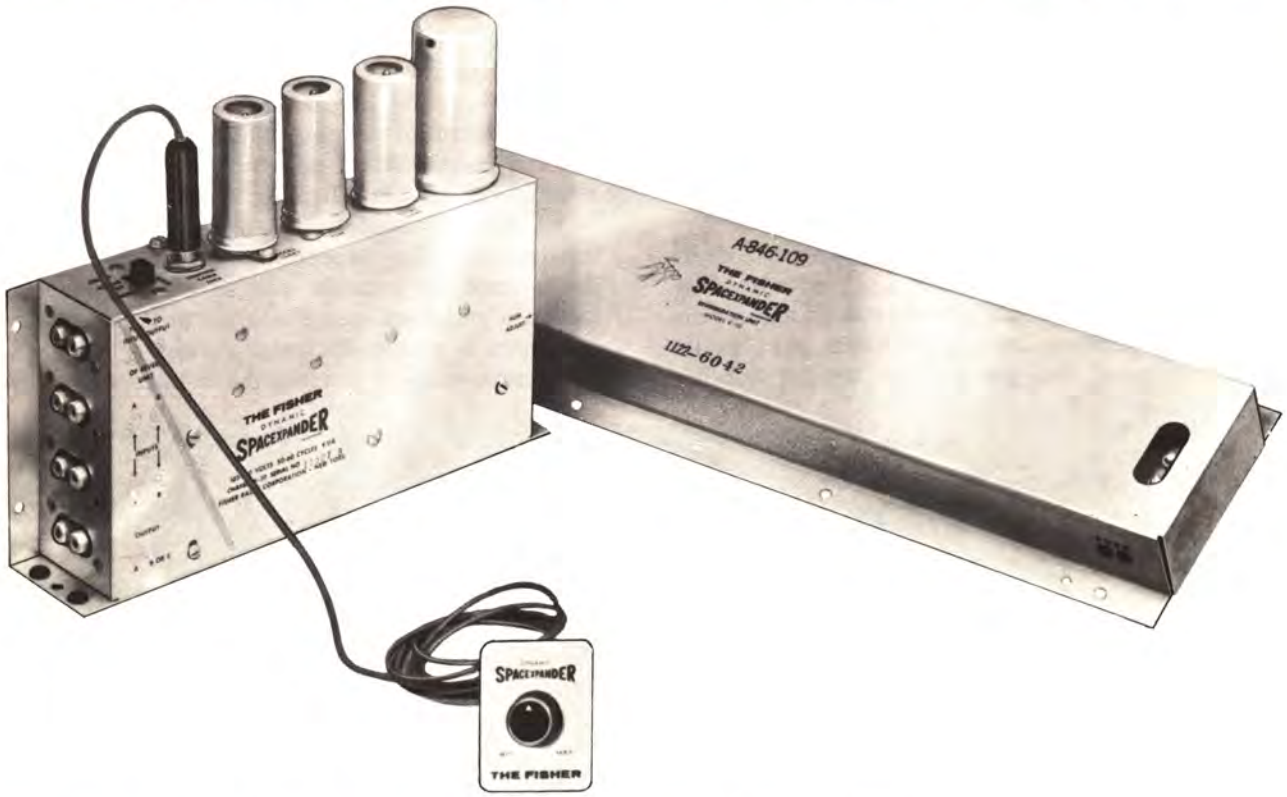


Conexión del sistema de reverberación a la salida del amplificador de potencia.



Fotografía de una línea de retardo con muelle.

mecánica con el de la cinta magnética. Desde luego, el sistema mecánico es inferior en cuanto a la calidad de los resultados, pues por un lado no se puede regular el tiempo de retardo y por otro la respuesta de la línea mecánica no es buena en toda la gama de frecuencias audibles. En contraposición presenta la venta de la sencillez de instalación y el reducido precio.



Unidad de reverberación The Fisher modelo K-10. Está compuesta por una línea de retardo con muelle y un amplificador auxiliar.

OTROS SISTEMAS DE REVERBERACION CON LINEA DE RETARDO MECANICO

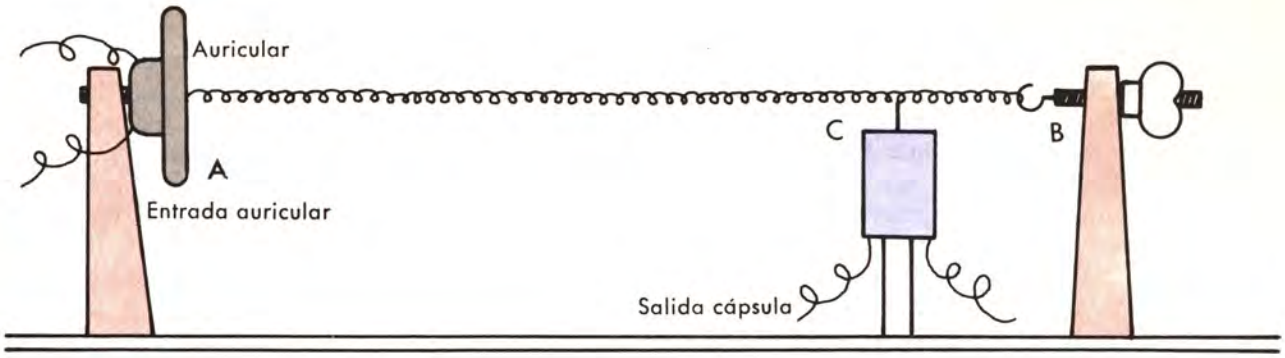
Existen otras disposiciones posibles para conseguir la línea de retardo mediante un muelle y otros elementos auxiliares.

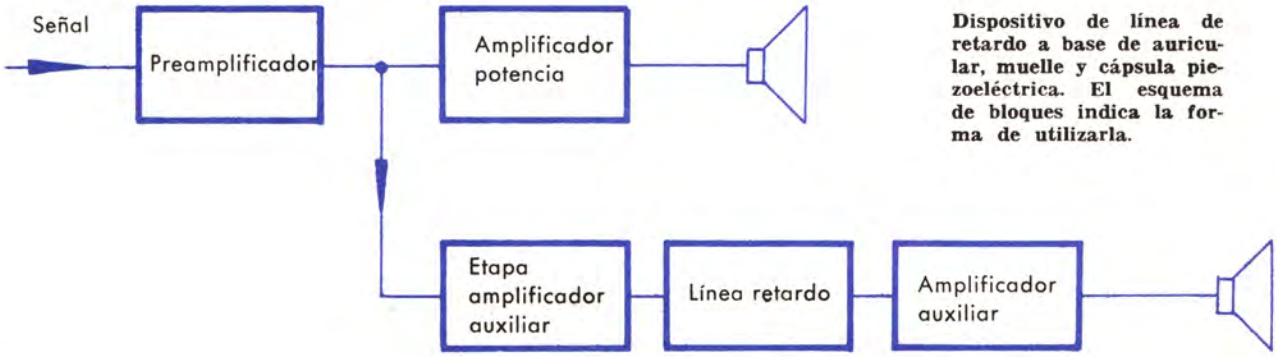
Una forma fácil de construir una línea de retardo mediante un muelle es la representada en la figura, en la que A es un auricular en el centro de cuya membrana se ha soldado uno de los extremos del muelle, otro extremo del cual está unido a un soporte mediante un tornillo que puede regular la tensión mecánica del muelle. En el punto C está colocada una cápsula fonocaptora de cristal. La longitud del muelle debe ser de unos 70 cm; el auricular debe estar situado a 50 ó 60 cm de la cápsula.

Cuando llega una señal eléctrica al auricular su membrana empieza a vibrar, movimiento que se transmite al muelle, que oscila siguiendo las vibraciones de la membrana del auricular. Cuando las vibraciones del muelle llegan a la cápsula, el movimiento desplaza la aguja de la cápsula, por lo que ésta genera tensiones proporcionales a los desplazamientos que sufre y por lo tanto iguales a los que han llegado al auricular.

En la figura se indica la manera de conectar este dispositivo. Debe tenerse en cuenta que con este dispositivo la toma para la línea de retardo debe dar la potencia suficiente para accionar el auricular, por lo que si esta toma se lleva a cabo a la salida del preamplificador casi siempre es necesaria una etapa amplificadora auxiliar para poder atacar al auricular.

Una variante de este dispositivo consiste en soldar el segundo extremo del muelle a un auricular en forma idéntica a como lo está el primero. En este caso la señal retardada se toma de los terminales de la bobina del segundo auricular, lo que hace innecesario el uso de la cápsula piezoeléctrica.





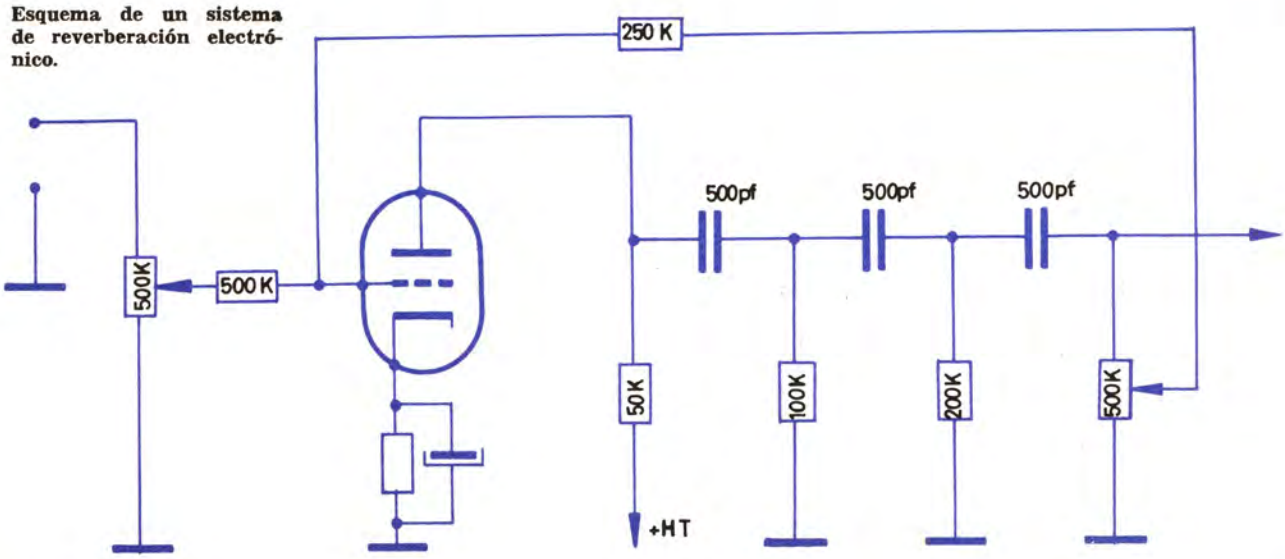
Dispositivo de línea de retardo a base de auricular, muelle y cápsula piezoeléctrica. El esquema de bloques indica la forma de utilizarla.

SISTEMA DE REVERBERACION CON LINEA DE RETARDO ELECTRONICO

La línea de retardo de estos dispositivos está constituida por una serie de filtros eléctricos poco amortiguados que oscilan bajo su propia frecuencia después de haber sido excitados.

Estos dispositivos son quizá los más difundidos por el reducido espacio que ocupan, en especial si se realizan con transistores. A este respecto podemos decir que existen micrófonos de ta-

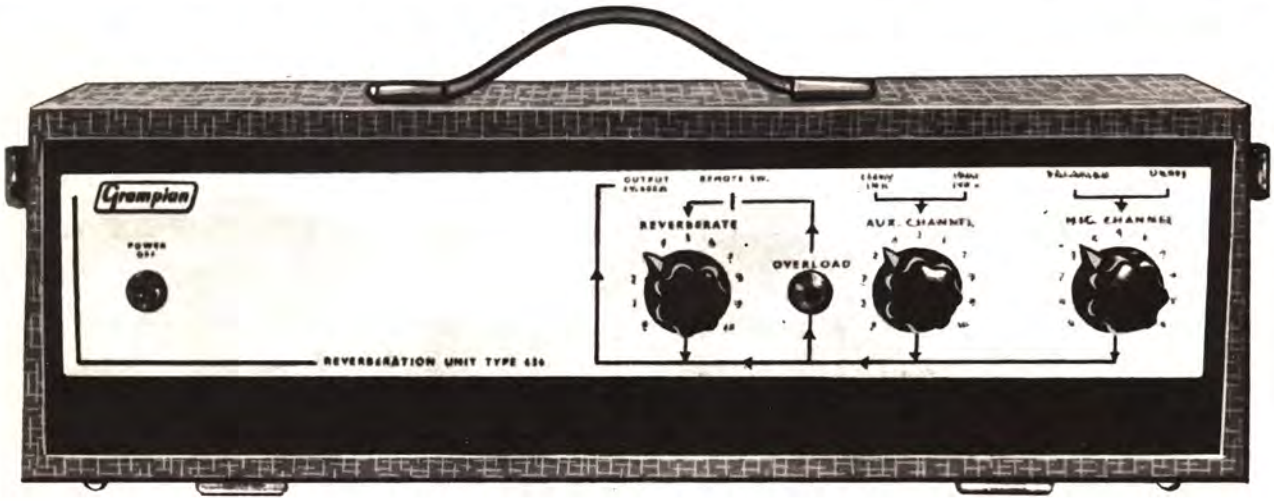
Esquema de un sistema de reverberación electrónico.



maño normal que llevan incorporado uno de estos dispositivos de reverberación, el que mediante un interruptor que posee el propio micrófono puede conectarse o desconectarse para provocar a voluntad la reverberación en la señal que proporcionan.

A pesar de la ventaja a que hemos aludido, estos dispositivos presentan un grave inconveniente: su puesta a punto es muy delicada, pues hay que obtener de todos los filtros eléctricos una curva de respuesta global que no favorezca a ninguna frecuencia particular en perjuicio de otras. Conseguir esta respuesta es un tanto difícil.

El esquema corresponde a un sencillo dispositivo de este tipo constituido por tres filtros RC en serie. Funciona de la siguiente forma: al llegar una señal a la rejilla de la válvula, ésta es amplificada, con lo que en la placa aparece una tensión que se aplica a la línea de retardo constituida por los filtros. La señal de placa atraviesa esos filtros, pero necesita un determinado tiempo; y una vez lo ha conseguido se aplica a la rejilla mediante el bucle de realimentación. Por tanto, la misma señal se encuentra de nuevo en la placa con cierto retraso y en forma de una tensión menor, puesto que la señal ha perdido parte de su energía a través de la línea. Así sucesivamente se repite el proceso hasta que la señal queda completamente extinguida por las pérdidas que sufre en la red.



Unidad electrónica de reverberación transistorizada.

Este ejemplo puede servir para comprender cómo funcionan estas líneas de retardo electrónicas; sólo falta añadir que la mayor parte de las veces se construyen con transistores en sustitución de las válvulas.

Con esto damos por terminada la descripción de estos dispositivos de reverberación, no sin antes advertir que existen otros sistemas, como los de cámara de reverberación, tubo acústico, resortes insertados directamente en los altavoces, etcétera. Todos ellos se emplean con menos frecuencia que los descritos y son bastante más complicados de construir, con la excepción del sistema de resortes aplicados directamente al altavoz, que por otra parte es mucho menos efectivo.

* * * *

AFHA

REALIZACIONES PRACTICAS SOBRE HI-FI

Construcción de un amplificador híbrido de 12 watios

MONTAJE DE UN AMPLIFICADOR DE HI-FI

DESCRIPCION GENERAL

Como complemento de los conceptos expuestos en las lecciones teóricas dedicadas a la técnica de la alta fidelidad, daremos aquí instrucciones y detalles para el montaje de un amplificador cuyas características respondan a las exigencias de esa técnica.

En el diseño de este amplificador hemos procurado llegar a un compromiso razonable entre la calidad y el precio; así como también entre la calidad y las dificultades de puesta a punto.

Como resultado, este amplificador únicamente utiliza componentes que se encuentran sin dificultad en el mercado. Una vez montado no requiere ningún proceso de ajuste, y además su coste es razonablemente reducido.

El circuito

En el esquema correspondiente se puede comprobar que este amplificador hace uso de soluciones poco convencionales.

Lo primero que llama la atención es el empleo de válvulas en el amplificador de potencia y de transistores en el preamplificador.

La razón de este proceder es que así se resuelven de manera sencilla y económica los problemas que se plantean en el montaje de esas dos secciones del amplificador.

En el caso del preamplificador, habida cuenta de la gran sensibilidad que debe poseer, las mayores dificultades aparecen al intentar eliminar la captación de zumbidos.

Por lo general, si se desea obtener una reproducción con categoría de alta fidelidad debe recurrirse al empleo de pastillas fonocaptoras magnéticas, cuyo nivel de salida es del orden de 5 mV. Naturalmente, si las señales de entrada son de ese orden las señales de zumbido captadas han de ser muchísimo menores, lo que obliga, en los preamplificadores de válvulas, a realizar montajes muy cuidados, sobre todo por lo que se refiere a la alimentación de filamentos, que casi necesariamente hay que llevar a cabo con corriente continua.

El empleo de transistores elimina de raíz este problema. Por otra parte, los circuitos asociados a un transistor son de más baja impedancia que los correspondientes en válvulas, y por tanto menos sensibles a la captación de zumbidos.

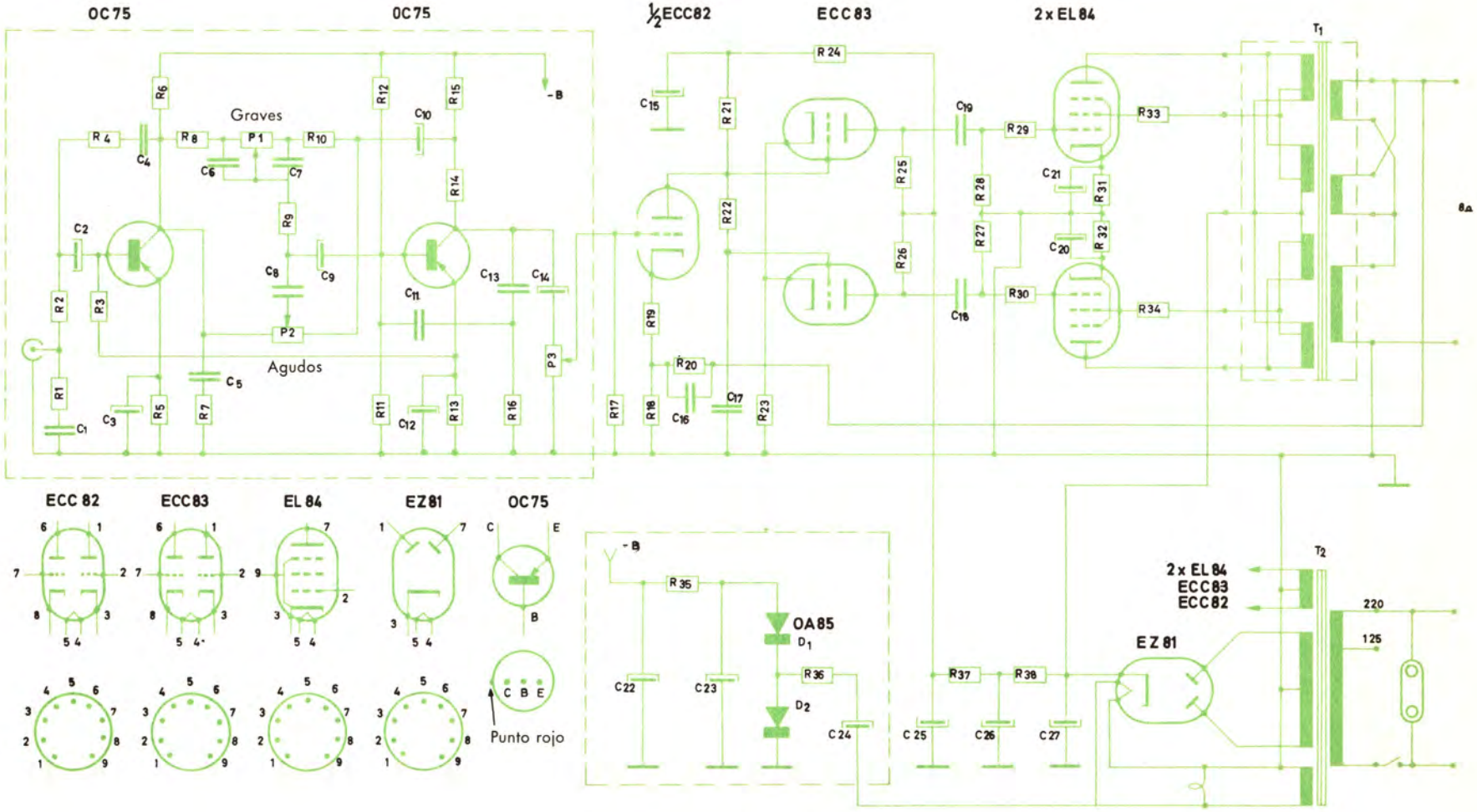
Puesto que los transistores pueden estar soldados directamente a los puntos del circuito, el montaje mecánico del preamplificador se simplifica notablemente y se acortan las conexiones que van a los potenciómetros de tonalidad y volumen, con lo que se elimina también otra de las posibles fuentes de zumbido.

La única dificultad que presenta esta solución es la de proveer tensión negativa para la alimentación, cosa que hemos resuelto rectificando la tensión alterna de 6'3 V utilizada para el caldeo de la rectificadora EZ81. Hemos empleado para ello un circuito doblador de tensión que emplea dos diodos OA85.

En cuanto al amplificador de potencia, sería posible, desde luego, equiparlo con transistores; pero por una parte los transistores de potencia son mucho más caros que las válvulas, el montaje se complica a causa de los circuitos de compensación térmica de que han de ir provistos y, finalmente, la tolerancia de sus características es mucho mayor que en el caso de las válvulas. Esta última circunstancia hace necesario un ajuste de las condiciones de trabajo del amplificador una vez que ha sido montado.

Todos estos inconvenientes nos han decidido por el empleo de válvulas en la sección de potencia de nuestro amplificador.

El paso de salida es del tipo ultralineal y uti-



AMPLIFICADOR HI-FI. Potencia de salida: 12 W. Sensibilidad: 5 mV para 12 W.

RELACION DE COMPONENTES EMPLEADOS EN EL AMPLIFICADOR

RESISTENCIAS

R1 -	47	KΩ	0,33 W	10 %
R2 -	3,9	KΩ	0,33 W	10 %
R3 -	22	KΩ	0,33 W	10 %
R4 -	47	KΩ	0,33 W	10 %
R5 -	2,7	KΩ	0,33 W	10 %
R6 -	10	KΩ	0,33 W	10 %
R7 -	12	KΩ	0,33 W	10 %
R8 -	3,3	KΩ	0,33 W	10 %
R9 -	3,3	KΩ	0,33 W	10 %
R10 -	3,3	KΩ	0,33 W	10 %
R11 -	10	KΩ	0,33 W	10 %
R12 -	39	KΩ	0,33 W	10 %
R13 -	1,5	KΩ	0,33 W	10 %
R13 -	1,5	KΩ	0,33 W	10 %
R14 -	2,2	KΩ	0,33 W	10 %
R15 -	1	KΩ	0,33 W	10 %
R16 -	2,7	KΩ	0,33 W	10 %
R17 -	330	KΩ	0,5 W	10 %
R18 -	100	Ω	0,33 W	10 %
R19 -	470	Ω	0,33 W	10 %
R20 -	Ver la tabla en la pág. 268			
R21 -	39	KΩ	0,5 W	5 %
R22 -	1	MΩ	0,5 W	10 %
R23 -	68	KΩ	1 W	10 %
R24 -	4,7	KΩ		10 %
R25 -	100	KΩ	0,5 W	10 %
R26 -	100	KΩ	0,5 W	10 %
R27 -	560	KΩ	0,5 W	10 %
R28 -	560	KΩ	0,5 W	10 %
R29 -	5	KΩ	0,33 W	10 %
R30 -	5	KΩ	0,33 W	10 %
R31 -	270	Ω	2 W	5 %
R32 -	270	Ω	2 W	5 %
R33 -	100	Ω	0,5 W	10 %
R34 -	100	Ω	0,5 W	10 %
R35 -	1000	Ω	0,33 W	10 %
R36 -	56	Ω	0,5 W	10 %
R37 -	33	KΩ	0,5 W	10 %
R38 -	5	KΩ	1 W	10 %
P1 -	50	WΩ	potenc. lineal	
P2 -	25	KΩ	potenc. lineal	
P3 -	10	KΩ	potenc. logarítmico	

CODENSADORES

C1 -	2	KpF	cerámico
C2 -	10	μF	12 V electrolítico
C3 -	100	μF	6 V electrolítico
C4 -	5	μF	cerámico
C5 -	8,2	KpF	cerámico
C6 -	100	KpF	30 V poliéster
C7 -	100	KpF	30 V poliéster
C8 -	10	KpF	30 V poliéster
C9 -	25	μF	12 V electrolítico
C10 -	2	μF	25 V electrolítico
C11 -	1	KpF	cerámico
C12 -	100	μF	6 V electrolítico
C13 -	1	KpF	cerámico
C14 -	5	μF	12 V electrolítico
C15 -	8	μF	350 V electrolítico
C16 -	Ver la tabla de la pág. 268		
C17 -	100	KpF	400 V poliéster
C18 -	100	KpF	400 V poliéster
C19 -	100	KpF	400 V poliéster
C20 -	50	μF	25 V electrolítico
C21 -	50	μF	25 V electrolítico
C22 -	500	μF	12 V electrolítico
C23 -	160	μF	25 V electrolítico
C24 -	160	μF	25 V electrolítico
C25 -	20	μF	350 V electrolítico
C26 -	50+50	μF	400 V electrolítico

DIODOS

2 - 0A85

TRANSISTORES

2 - 0C75

TRANSFORMADORES

T1 - Transformador de salida
ULT-84 Roselson

T2 - Transformador de alimentación
AL-12 Roselson

VALVULAS

2 - EL84

1 - EZ81

1 - ECC83

1 - ECC82

liza, como es natural, un transformador de elevada calidad. En el esquema se indica que el que hemos empleado ha sido construido según la técnica de devanados interpuestos.

El secundario está constituido por tres devanados que, según sea la forma en que están conectados entre sí, proporcionan impedancias de carga de 16, 8 o 4 Ω. En el esquema se supone que están conectados para una impedancia de carga de 8 Ω.

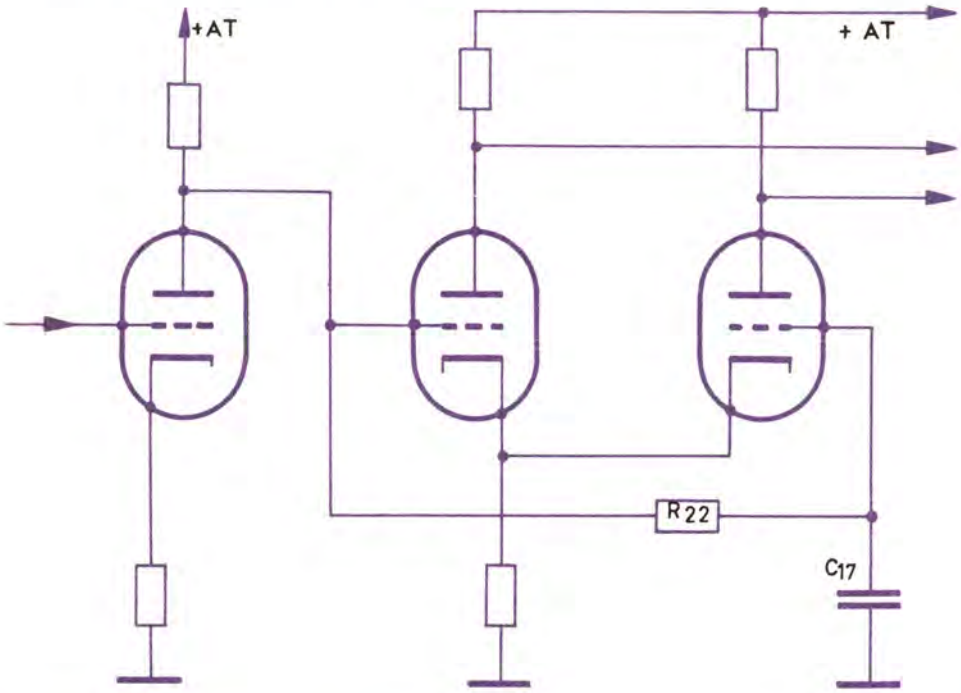
La forma de realizar las conexiones está indicada en el cuerpo del propio transformador.

El paso defasador está constituido por un doble triodo ECC83 del tipo catodino.

Adviértase que la rejilla de uno de los triodos está acoplada a la placa del paso anterior, lo que asegura una excelente transmisión de las frecuencias bajas.

La rejilla del otro triodo recibe la misma tensión de polarización a través de la resistencia R_{22}; pero por lo que respecta a las señales alternas está desacoplada a la masa por el condensador C_{17}, de elevada capacidad.

El paso de entrada del amplificador de potencia está constituido por uno de los dos triodos de la ECC82. En el esquema se indica que debe utilizarse precisamente el correspondiente a las patillas 6, 7 y 8, que es el menos sensible al zumbido. El otro triodo no se utiliza en este amplificador. Un lazo de realimentación constituido por el grupo R_{20}-C_{16} mejora notablemente las características del conjunto.



Este es el inversor de fase utilizado en nuestro amplificador.

MATERIAL EMPLEADO

Como ya hemos indicado, los componentes empleados se encuentran fácilmente en el comercio. En todos los casos se elegirán siempre los de mejor calidad de entre los que cumplan las especificaciones de la lista adjunta.

Las resistencias serán del tipo de capa de carbón y no conglomeradas, pues estas últimas tienen mucha mayor tensión de ruido.

Adviértase que las resistencias de cátodo del paso de salida tienen una tolerancia de 5 %, en tanto que las demás pueden ser de 10 %. Especialmente importante es la elección del transformador de salida. El que hemos utilizado ofrece los siguientes requisitos característicos eléctricos:

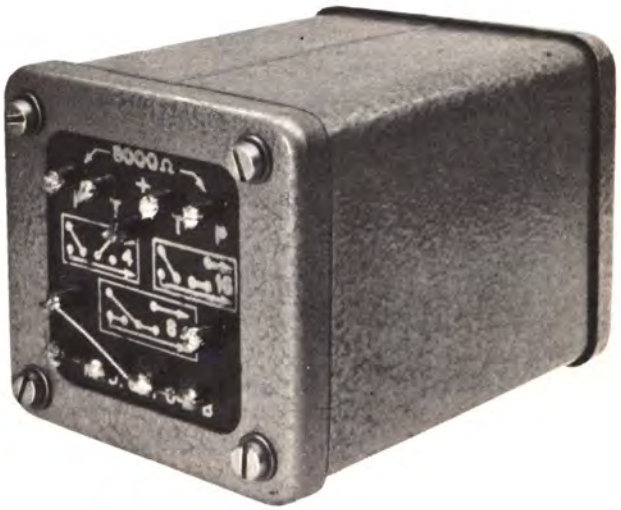
Impedancias del primario Z_{pp}	8000 Ω
Tomas de rejilla	43 %
Impedancias del secundario	4, 8, 16 Ω
Inductancia del primario	85 H
Inductancia de dispersión	0'1 H
Resistencia del primario	205 + 205 Ω

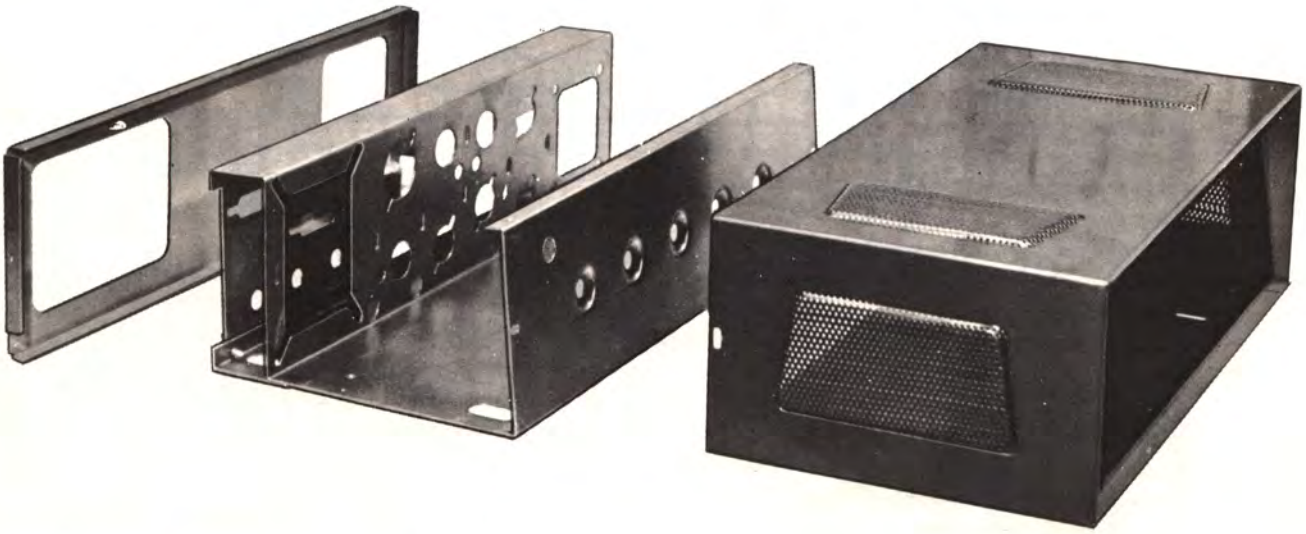
Está protegido por un blindaje de la influencia de los campos magnéticos exteriores.

Sus conexiones con el resto del circuito se realizan mediante una serie de terminales dispuestos sobre una placa aislante, en la que además se indica la forma de interconectar los devanados secundarios para obtener las impedancias de 4, 8 o 16 Ω.

El transformador de alimentación, por supuesto, no es tan crítico como el de salida; pero conviene que trabaje con holgura para evitar calentamientos y obtener buena regulación de la tensión. Es necesario, además, que esté provisto de un blindaje para reducir en lo posible la radiación magnética. En nuestro caso hemos elegido un transformador de la misma marca que el de salida. Una interesante particularidad del tipo elegido es que está provisto de una pantalla electrostática interpuesta entre los devanados primario y secundario, con lo que se evita la influencia de los parásitos de la red y se hace superfluo el empleo del condensador con que habitualmente se desacopla el primario.

Una vez elegidos los transformadores, que son





Caja y transformadores empleados en este montaje.

los componentes de mayor volumen, seleccionaremos entre las diversas cajas del mercado una en que dichos transformadores se puedan incluir; a ser posible sin que sea necesario efectuar ninguna modificación mecánica.

MONTAJE

Para seguir un orden lógico, recomendamos que se proceda a las operaciones de montaje en el siguiente orden:

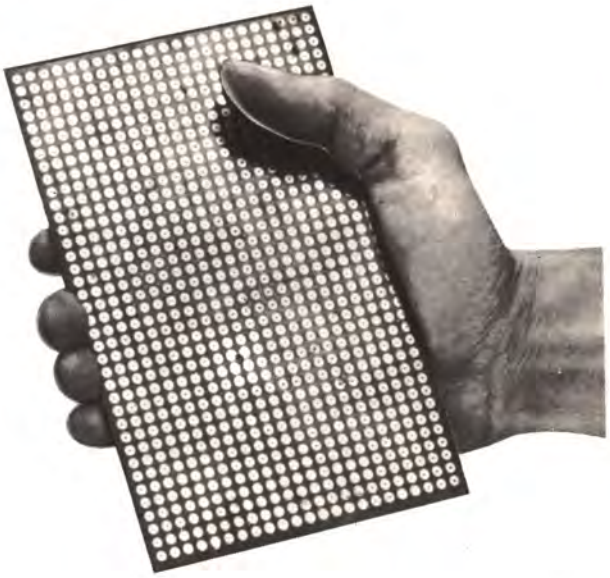
Preamplificador

Esta sección se monta sobre una pequeña placa de circuito impreso del tipo universal que se une a la cara posterior de la placa frontal de la caja mediante cuatro separadores.

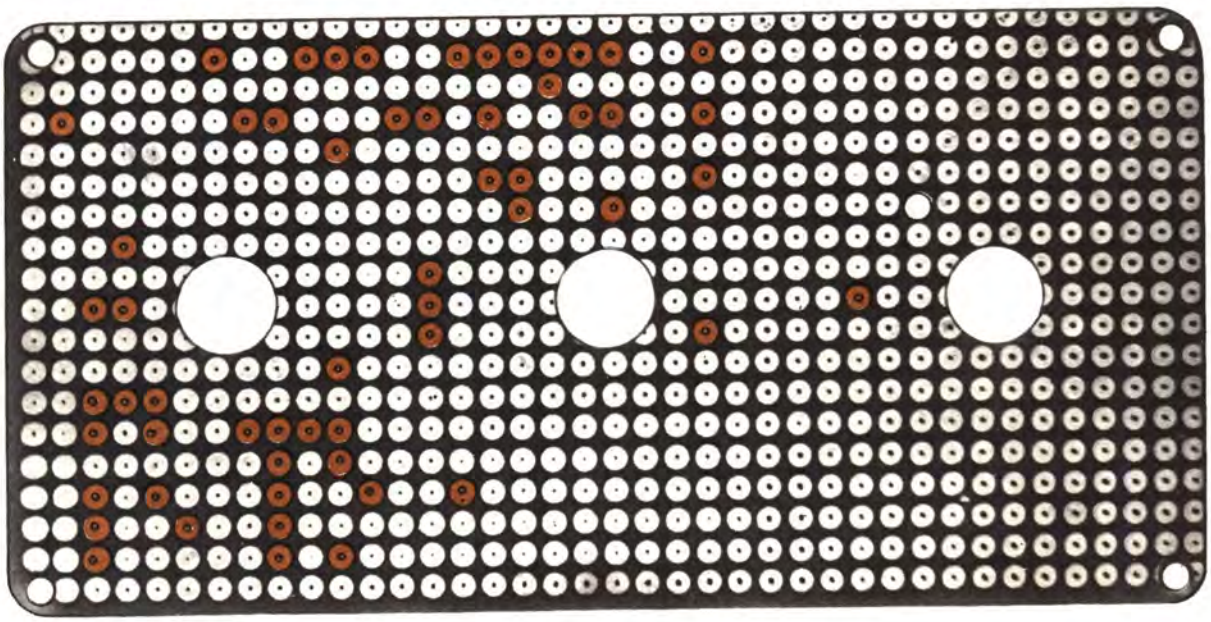
En el comercio se expenden placas rectangulares para circuitos impresos del llamado tipo universal. Un modelo muy extendido es el que indica la fotografía. Es una placa aislante provista de una serie de pequeños círculos de cobre distribuidos sobre la superficie en forma uniforme sobre los que se sueldan los diversos componentes del montaje.

De una de esas placas comerciales hemos recortado y taladrado una pieza tal como indica, en tamaño natural, la figura inmediata. Los tres orificios de tamaño mayor están destinados a los potenciómetros; los cuatro de tamaño mediano sirven para fijar la placa a la caja mediante los se-

La figura ilustra la que hemos utilizado. Está provista de sendos taladros para fijar ambos transformadores y orificios más que suficientes para todas las válvulas del amplificador. La figura indica los que debemos utilizar.



Para montar el preamplificador se utiliza una placa de circuito impreso de tipo universal.



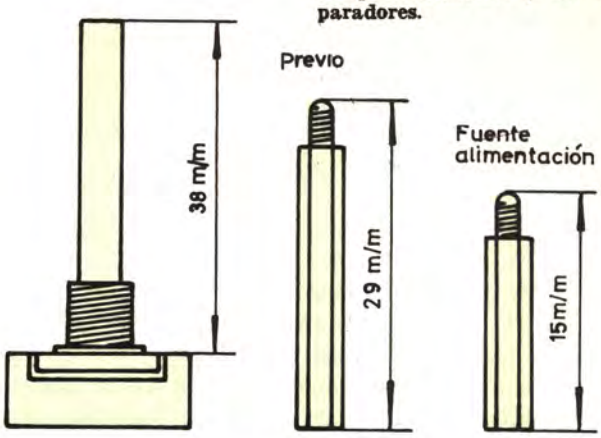
Se corta y taladra la placa tal como indica la figura. Se han indicado en color rojo los círculos sobre los que deben practicarse taladros de 1,5 mm.

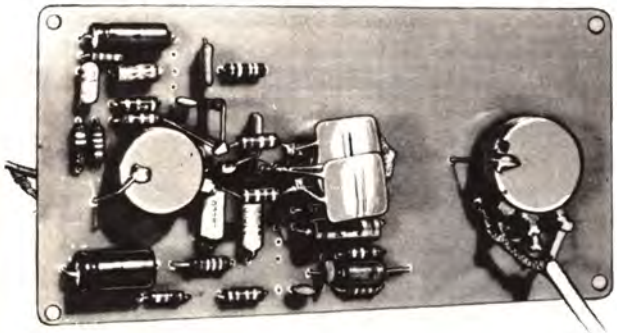
paradores, y los de tamaño pequeño, practicados con una broca de 1'5 mm, sirven para fijar las resistencias, condensadores y transistores que integran el circuito.

Antes de alambrar el preamplificador, conviene soldar en la cara posterior de la placa frontal los cuatro separadores que han de sujetarla. Los separadores tienen una longitud de 25 mm y, como el resto de los componentes del equipo, se encuentran sin dificultad en las tiendas del ramo.

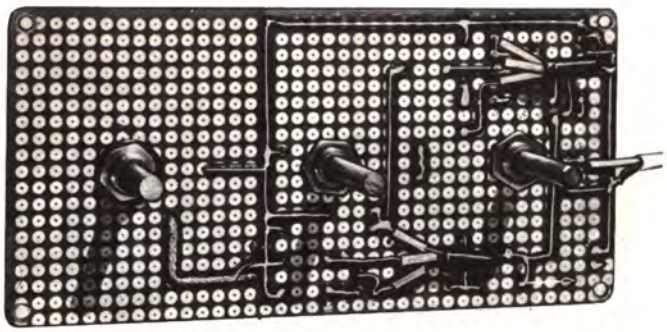
Para tener la seguridad de que los cuatro separadores quedan soldados en los puntos adecuados, se procede de la siguiente forma:

Longitudes que deben tener los potenciómetros y los separadores.

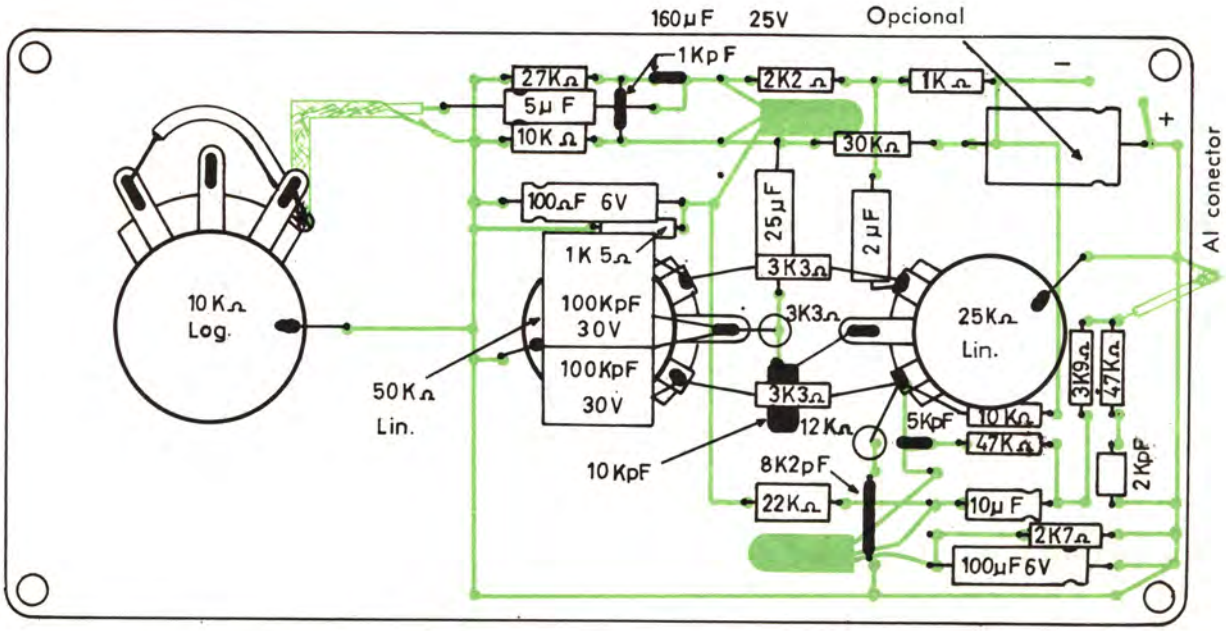




Aspecto de la cara anterior una vez realizado el montaje.



Aspecto de la placa del previo una vez realizado el montaje. Cara posterior.



Croquis de alambrado del previo. Se han indicado en color azul las conexiones que se realizan por la cara del cobre.

Se atornillan los cuatro espárragos a la placa de circuito impreso, y se colocan también sobre ella los tres potenciómetros, cuyos ejes se habrán cortado con anticipación a la longitud conveniente. A continuación se adosa el conjunto a la parte posterior de la placa frontal de manera que los ejes de los potenciómetros queden bien centrados en los tres orificios centrales de que está provista la placa frontal.

Se procede entonces a soldar los separadores a la placa, procurando no desplazarlos durante la operación. Una vez conseguido esto puede desatornillarse el circuito impreso para incorporarle el resto de los componentes.

Todos los componentes se sitúan en la parte de la placa desprovista de cobre; se conectan entre sí pasando los terminales por los orificios practicados al efecto, soldándolos con ayuda de los círculos de cobre.

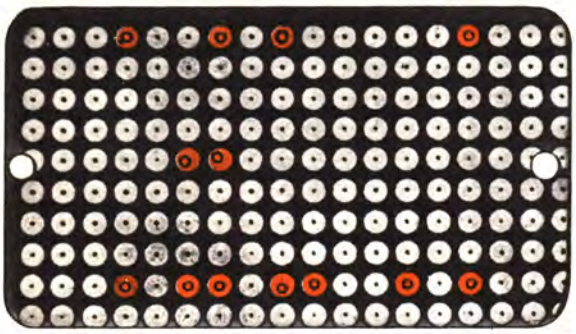
Por excepción, los transistores se colocan en la cara contraria para protegerlos de la radiación térmica procedente de las válvulas.

Creemos que las fotografías y los croquis ilustran con claridad suficiente la forma de proceder.

Es importante que los tres potenciómetros empleados sean de muy buena calidad, pues de lo contrario contribuyen a empeorar notablemente la relación señal-ruido del amplificador.

Fuente de alimentación para el preamplificador

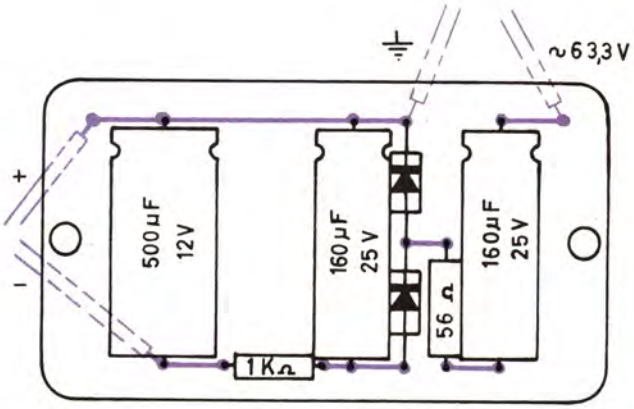
Los elementos que constituyen esta fuente se montan, como el preamplificador, sobre una pequeña placa de circuito impreso, que se fija al fondo de la caja mediante separadores que deben soldarse siguiendo el mismo procedimiento utilizado en el caso del preamplificador.



Placa de circuito impreso para la fuente de alimentación.

Aspecto del montaje por la cara contraria al cobre.

Aspecto del montaje por el lado del cobre.

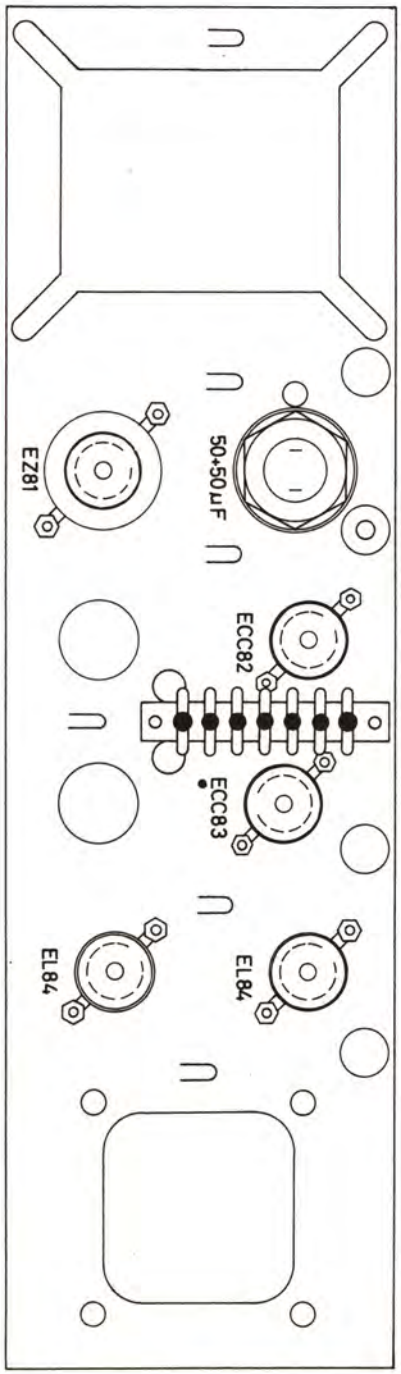


Croquis del alambrado.

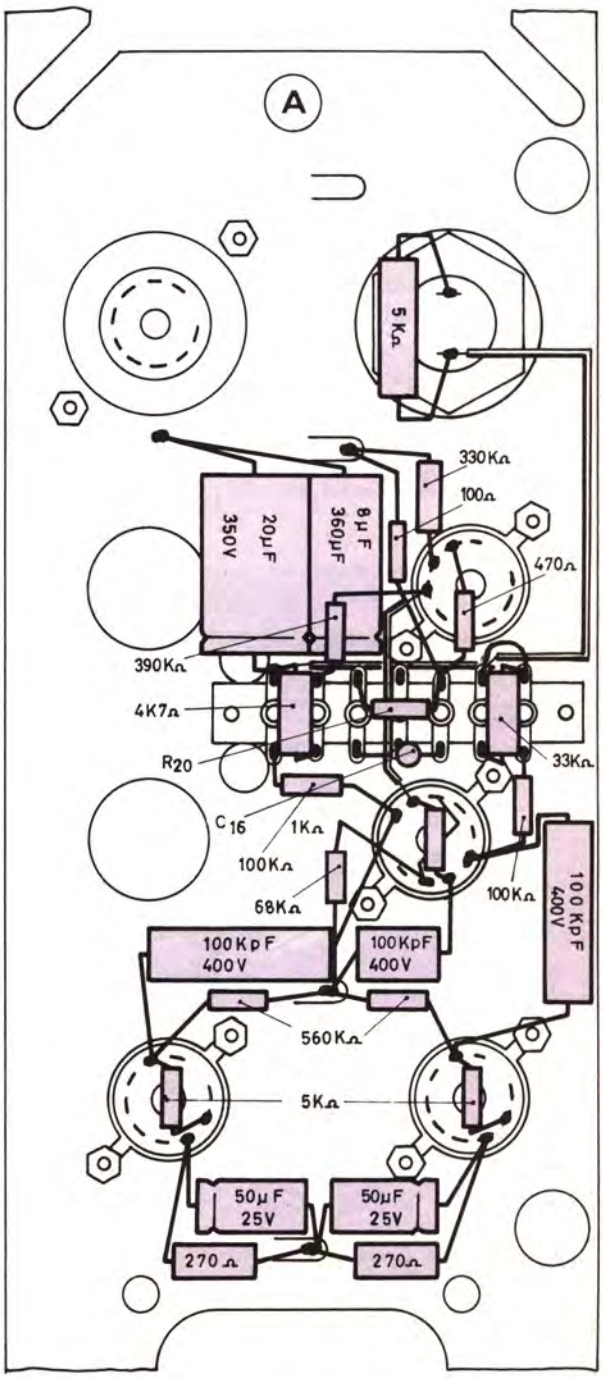
El amplificador de potencia

Antes de empezar el alambrado del amplificador de potencia se abren taladros para fijar una regleta que servirá de soporte a diversos componentes del montaje. También se agranda el orificio del extremo derecho de la cara frontal para alojar en él al conector de entrada. Este conector puede estar directamente soldado a la caja. A continuación se colocan los zócalos de las válvulas, el condensador electrolítico de 50 + 50 μF y el portalámparas de la luz piloto y el interruptor.

Antes de incorporar los transformadores de alimentación y de salida se procede a alambrar parcialmente el amplificador en la forma que indica el croquis A. Sobre todo, es importante que las soldaduras al chasis se hagan en los puntos indicados.



Situación de los diversos componentes mecánicos.



Primera fase de alambrado.

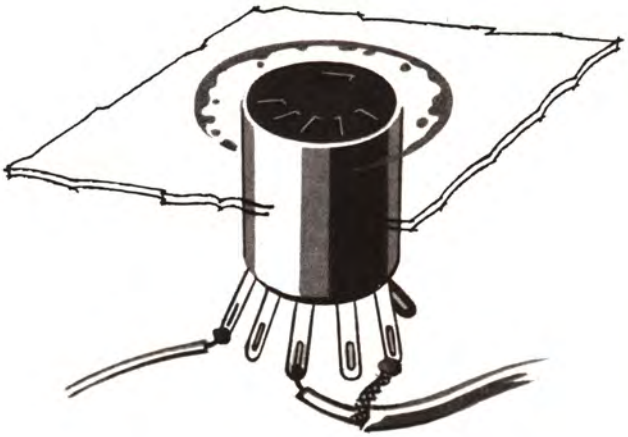
Una vez incorporados todos los componentes indicados en el croquis A, se fijan el preamplificador y su fuente de alimentación mediante los espárragos previamente dispuestos a este fin.

Se conecta el cable apantallado de entrada del preamplificador al conector de entrada. El cable apantallado de salida, pasándolo a través de uno de los orificios del chasis, se conecta a la rejilla de la ECC82.

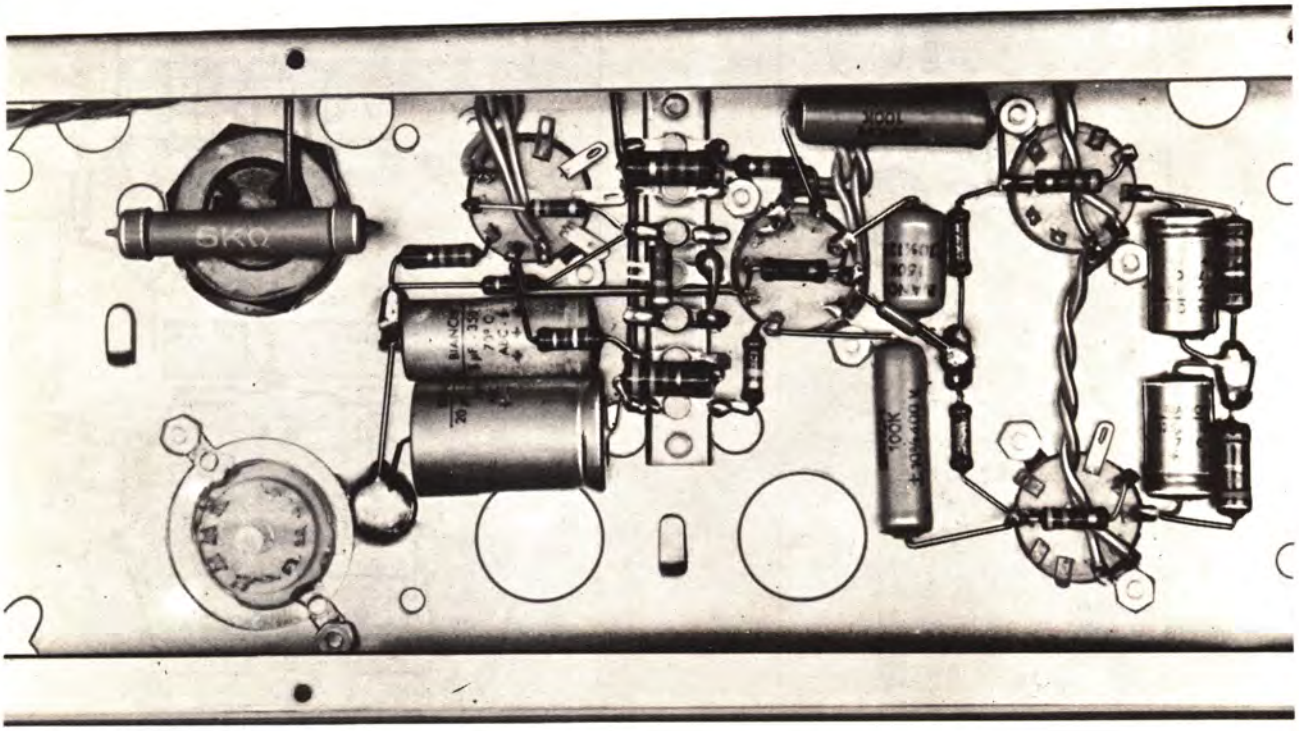
Conecte la malla del cable apantallado precisamente en el punto del chasis indicado en el croquis B. Asegúrese de que la soldadura es buena, pues, como puede observar, ése es el único punto de unión entre el chasis y el preamplificador.

El conector de entrada está provisto de varios terminales, de los que utilizamos tres: uno para el cable de entrada del preamplificador y otro para la malla que apantalla ese cable. El tercero se conecta al chasis en el mismo punto en que hace masa el condensador electrolítico de 20 μF. Debe respetarse esa disposición, pues no conviene hacer masa en un punto de la caja más próximo al conector.

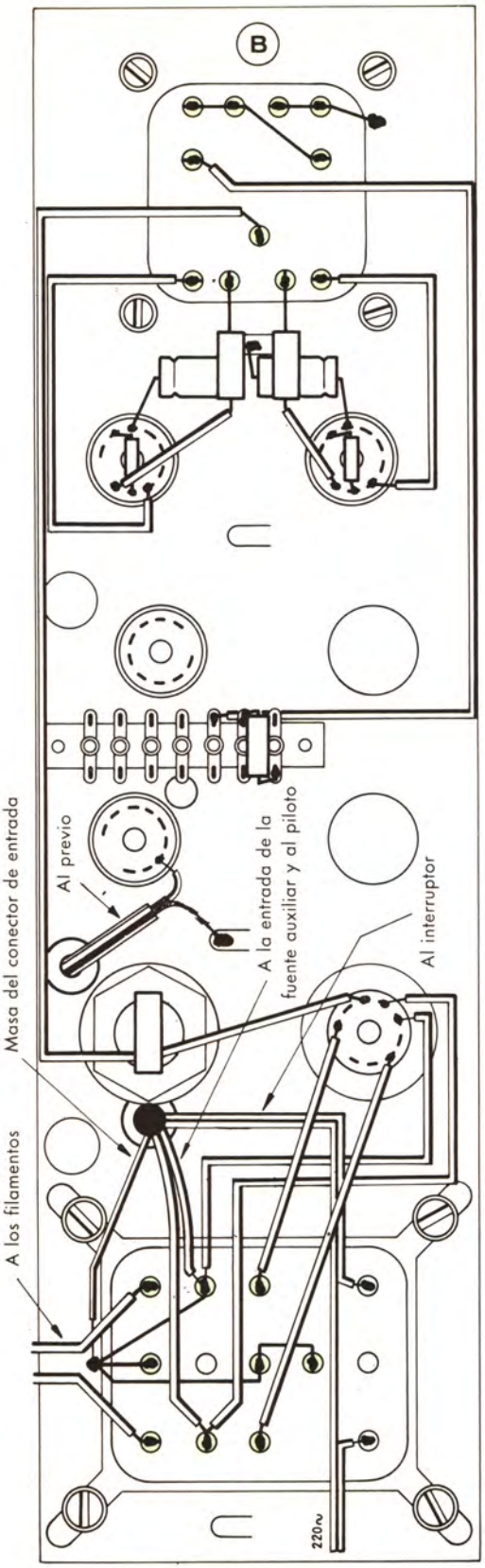
Conecte al interruptor y al portalámparas de la luz piloto sendos cables bipolares de 25 cm de longitud. Conecte también los dos cables de salida de la pequeña fuente de alimentación auxiliar a los puntos correspondientes en el preamplificador. Pase los dos de entrada a través del chasis por una de las gomas pasahílos, tal como indica el croquis B.



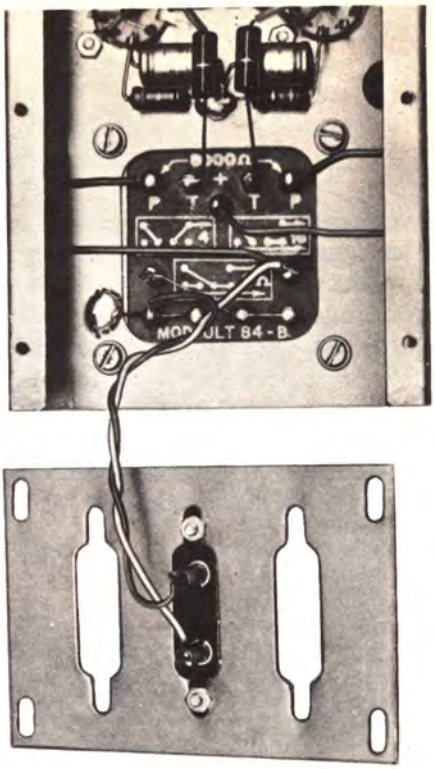
Conector de entrada.



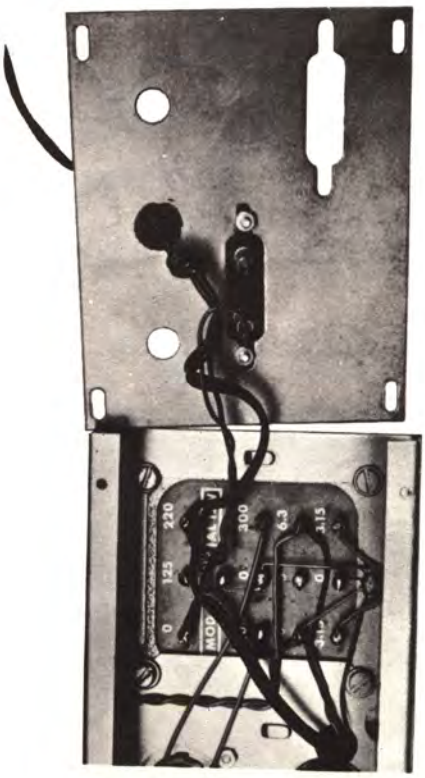
La fotografía corresponde al montaje en su primera fase de alambrado.



Conexiones entre los transformadores y el resto del montaje.



Conexiones a la placa del transformador de salida.



Conexiones a la placa del transformador de alimentación.

Incorporación de los transformadores y operaciones finales

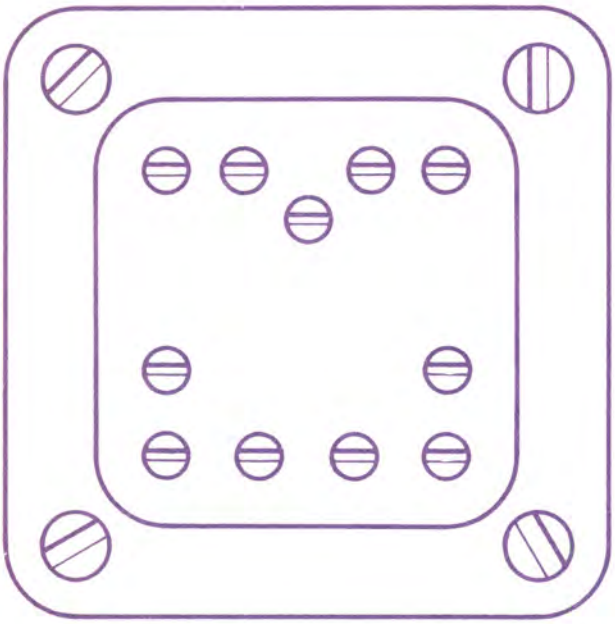
Una vez realizadas las operaciones anteriores, se fijan los transformadores en sus respectivos taladros y se efectúa las conexiones restantes indicadas en los croquis C y D.

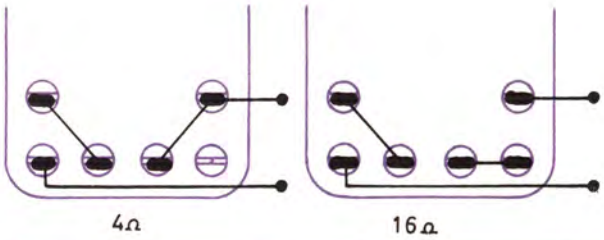
El chasis lleva por la parte posterior dos placas metálicas sujetas por tornillos. En una de ellas, próxima al transformador de alimentación, se coloca una goma pasahílos para el paso del cordón de alimentación y una plaquita de toma de corriente que sirve para alimentar el tocadiscos. En la otra lámina metálica se coloca una plaquita del tipo A-T (antena-tierra), para conectar los altavoces.

Los devanados del secundario del transformador de salida se conectan de modo que se obtenga una impedancia de salida de 8 Ω, ya que ésta era la que ofrecía el conjunto de altavoces utilizados en nuestras pruebas.

En el supuesto de los altavoces a utilizar tengan impedancias de 4 o 16 Ω se modifican las conexiones de acuerdo con lo que indica en las figuras. También deben modificarse los valores de R_{20} y C_{16} que constituyen el lazo de realimentación.

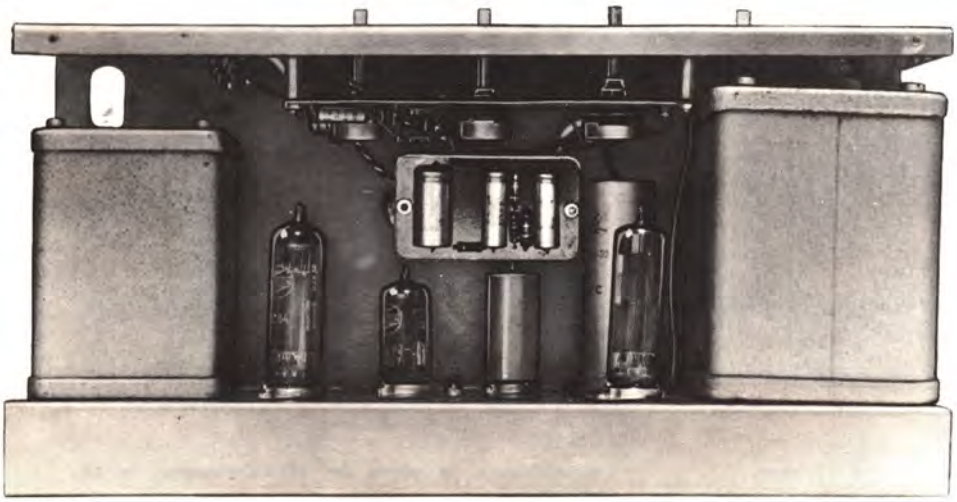
Los valores adecuados están indicados también en dicha figura.





Impedancia	C_{16}	R_{20}
4 Ω	270 pF	16 KΩ
8 Ω	200 p F	22 KΩ
16 Ω	125 p F	36 KΩ

Tabla para determinar los valores de C_{16} y R_{20}.



Aspecto del interior de la caja una vez acabado el montaje. Observe que la ECC82 ha sido protegida con un blindaje.

Una vez realizadas las conexiones indicadas en los croquis C y D, se atornillan las placas metálicas posteriores. Una vez colocadas en su sitio las válvulas, queda listo para su puesta en marcha. No olvide colocar el blindaje correspondiente a la ECC82.

Para dar aspecto agradable al amplificador se cubre la cara anterior con una placa de aluminio en la que se graban las indicaciones correspondientes al interruptor y a los botones de mando. La fotografía adjunta da una idea del acabado que puede darse al conjunto.

Aspecto exterior del amplificador.

Conexión entre amplificador y tocadiscos

Para evitar la introducción de zumbidos, esa conexión se efectuará como indica el gráfico. Se utiliza un cable apantallado para conducir la señal desde la cabeza fonocaptora hasta el preamplificador y un cable flexible para poner a masa la estructura metálica del tocadiscos.

La malla del cable apantallado no debe tener contacto en ningún punto con la estructura metálica del tocadiscos.

El conector de entrada que se emplea sirve para efectuar estas conexiones con toda comodidad.

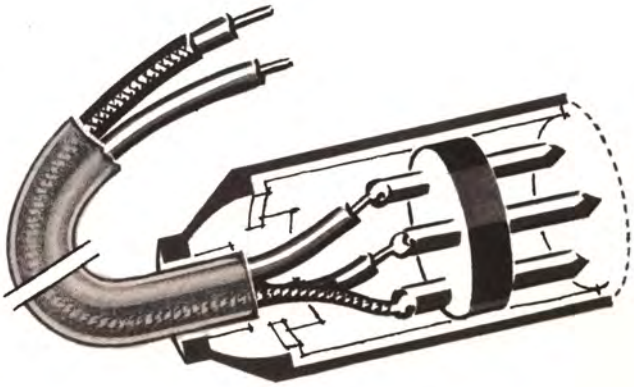
RESULTADOS

La respuesta del amplificador de potencia es esencialmente plana entre 30 c/s y 20.000 c/s; la potencia máxima de salida es de 12 vatios.

El preamplificador (*) da al conjunto la sensibilidad necesaria para ser atacado por una cápsula magnética. El paso de entrada está diseñado de forma que ofrece la impedancia adecuada a este tipo de pastillas y una respuesta que compense la característica de grabación (RIAA).

Los controles de tonalidad varían el nivel de agudos y graves entre + 12 dB y — 16 dB con respecto a los tonos medios (1000 c/s).

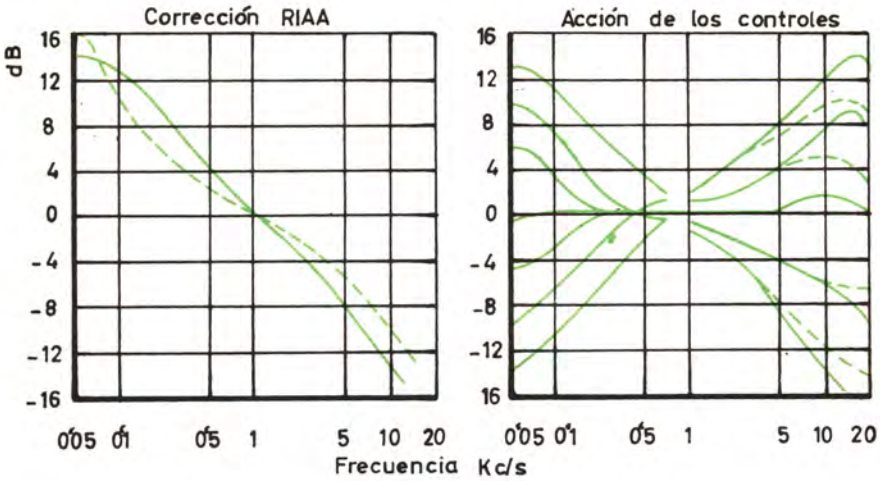
Este amplificador ha sido utilizado en unión de un tocadiscos Garrard AT6 provisto de cápsula



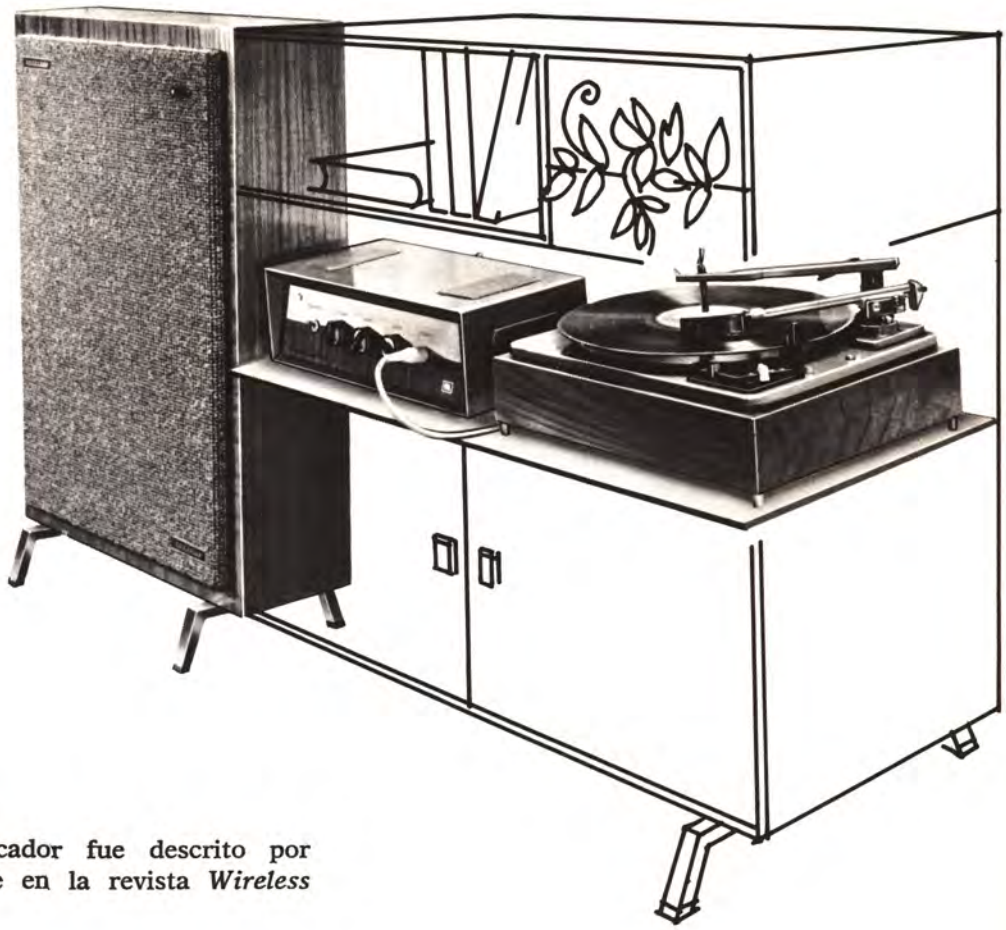
Conector del tocadiscos.

magnética M44-7 y de un gabinete acústico Roselson que incluye un altavoz de 12 pulgadas de banda extendida, un altavoz de 4 pulgadas y una trompeta de agudos alimentados a través de un filtro.

El resultado puede considerarse como francamente bueno. Dadas las posibilidades del amplificador, lo aconsejable es utilizar una cápsula magnética. También es posible utilizar una piezoeléctrica o cerámica, si bien ello requiere modificar los valores de los componentes del paso de entrada a fin de obtener una impedancia de acoplamiento adecuada.



A la derecha aparecen las diversas curvas de respuesta que se pueden obtener en los controles de tono. A la izquierda, la conexión de grabación que introduce el primer paso.



(*) Este preamplificador fue descrito por R. Tobey y J. Dinsdale en la revista *Wireless World*.

© MYC

Manuel Kurtulo